

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Оборудование и технология сварочного производства»

ТЕХНОЛОГИЯ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

*Методические рекомендации к курсовому проектированию
для студентов специальности 1-36 01 04
«Оборудование и технологии высокоэффективных
процессов обработки материалов»
очной и заочной форм обучения*



Могилев 2020

УДК 621.791
ББК 30.61
Т38

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Оборудование и технология сварочного производства» «17» апреля 2020 г., протокол № 10

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

Рецензент канд. техн. наук Д. М. Свирепа

Методические рекомендации к выполнению курсовой работы для студентов специальности 1-36 01 04 «Оборудование и технологии высокоэффективных процессов обработки материалов» очной и заочной форм обучения.

Учебно-методическое издание

ТЕХНОЛОГИЯ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Ответственный за выпуск	А. О. Коротеев
Корректор	А. А. Подошевка
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 36 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, Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2020

Содержание

1 Цели курсовой работы.....	4
2 Тематика курсовой работы.....	4
3 Содержание расчетно-пояснительной записки.....	4
4 Методика выполнения курсовой работы.....	5
4.1 Разработка конструкции сварной сборочной единицы и выбор типов сварных соединений.....	5
4.2 Определение химического состава и структуры стали в исходном состоянии.....	6
4.3 Технологические особенности сварки.....	7
4.4 Расчет параметров режима сварки.....	7
4.5 Расчет норм времени.....	12
4.6 Выбор сварочных материалов	13
4.7 Расчет химического состава шва и определение его структуры.....	14
4.8 Расчет расхода сварочных материалов.....	15
4.9 Выбор сварочного оборудования.....	16
Список литературы.....	16

1 Цели курсовой работы

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

При выполнении курсовой работы студенты должны осуществить рациональный выбор типов сварных соединений, сварочных материалов, рассчитать технологические параметры режима сварки и нормы времени, подобрать сварочное оборудование и оснастку, при необходимости дать рекомендации по термической обработке изделий.

2 Тематика курсовой работы

Темой курсовой работы является разработка технологии сварки конструкции, выполненной из высоколегированной стали, указанной в индивидуальном задании. Индивидуальное задание студенту выдается преподавателем в виде сборочного чертежа изделия с указанием марки основного металла, способа сварки. Также в задании могут быть приведены внешние нагрузки, прикладываемые к изделию. В этом случае расчет сварных соединений необходимо производить с учетом действующих нагрузок.

3 Содержание расчетно-пояснительной записки

Расчетно-пояснительная записка должна включать в себя следующие разделы.

Задание на курсовую работу.

Введение.

Разработка конструкции сварной сборочной единицы и выбор типа сварных швов.

Определение химического состава и структуры стали в исходном состоянии.

Технологические особенности сварки стали заданного структурного класса.

Расчет параметров режима сварки.

Расчет норм времени.

Выбор сварочных материалов.

Расчет химического состава шва и определение его структуры.

Расчет расхода сварочных материалов.

Выбор сварочного оборудования.

Заключение.

Список литературы.

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

4 Методика выполнения курсовой работы

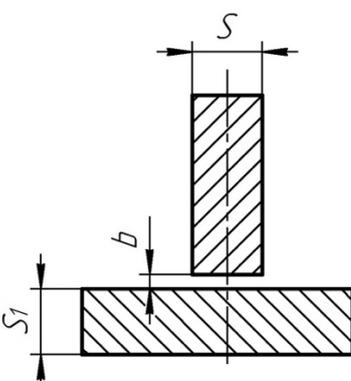
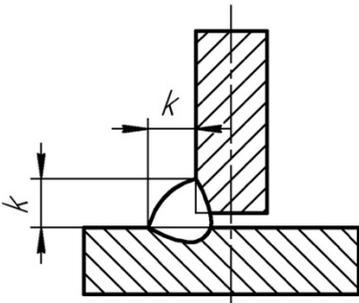
4.1 Разработка конструкции сварной сборочной единицы и выбор типов сварных соединений

После получения индивидуального задания в виде чертежа изделия студент должен разработать конструкцию сварной сборочной единицы. При этом изделие разбивается на несколько отдельных деталей, соединяемых между собой с помощью сварки. Количество деталей может быть различным (но не менее четырех) и зависит от технологичности изготовления конструкции, предполагаемого способа сварки и возможности упрощения технологии сборки изделия.

После этого необходимо выбрать типы сварных соединений для каждой пары деталей. Тип соединения определяет способ подготовки кромок под сварку, их геометрическое расположение и параметры сварного шва. Для выбора типа соединения используются соответствующие нормативные документы в зависимости от способа сварки и варианта расположения свариваемых деталей друг относительно друга: 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.

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. В качестве примера, в таблице приведен случай для таврового сварного соединения Т1.

Таблица 4.1 – Типы сварных соединений (на примере соединения Т1 ГОСТ 14771–76)

Номер шва, тип соединения, соединяемые элементы	Конструктивный элемент	
	подготовленных кромок свариваемых деталей	шва сварного соединения
№ 1 ГОСТ 14771–76 Тип – Т1 Ребро и основание		
	$S_1 = 10 \text{ мм}; S = 6 \text{ мм}; b = 0^{+1,5} \text{ мм}; k = 4 \text{ мм}$	

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

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

где N – усилие, действующее на деталь, кН;

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

β – коэффициент формы шва;

$L_{ш}$ – длина сварного шва, м.

Коэффициент формы шва учитывает профиль его поверхности (выпуклый, вогнутый).

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

4.2 Определение химического состава и структуры стали в исходном состоянии

Первым этапом выполнения курсовой работы является изучение технологии сварки заданной стали. Для этого в первую очередь следует определить её структурный класс, который зависит от химического состава и влияет на технологические особенности сварки, такие как: необходимость выполнения термообработки, предварительного подогрева, выбор защитной газовой среды и типа покрытия электродов и др.

Химический состав стали определяется по марочникам и справочникам. Определение структуры стали осуществляется по диаграмме Шеффлера (рисунок 4.1, а). Для этого, первоначально рассчитываются эквивалентные значения хрома и никеля по следующим формулам:

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

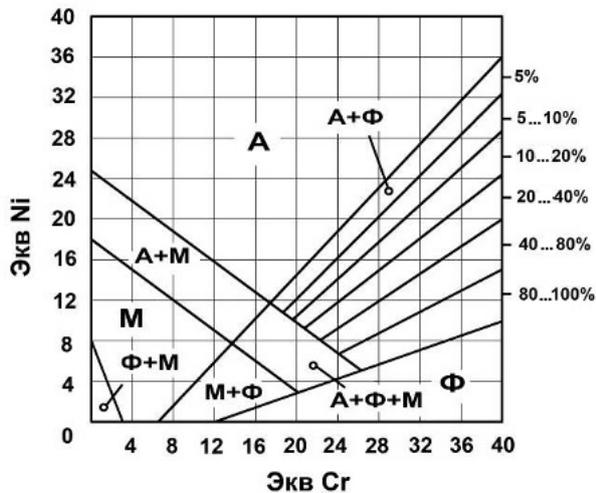
$$\text{Экв Ni} = \% \text{ Ni} + 30 \% \text{ C} + 30 \% \text{ N} + 0,5 \% \text{ Mn}; \quad (4.3)$$

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.

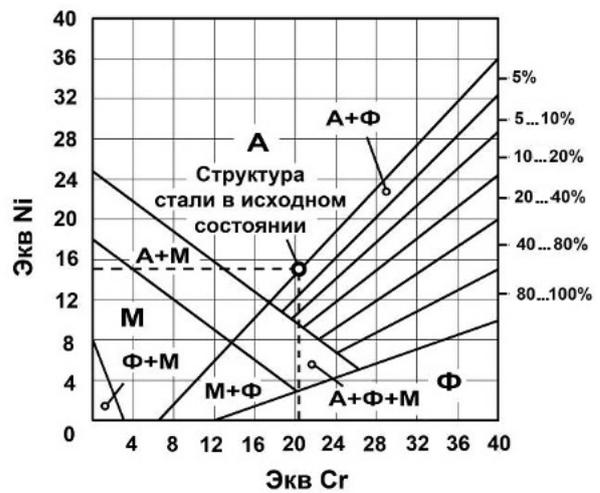
По значениям Экв Cr и Экв Ni на диаграмме Шеффлера наносится точка, соответствующая структуре стали. Если она попадает в зоны: А – сталь аустенитного класса; Ф – сталь ферритного класса; М – сталь мартенситного класса; А + Ф – сталь аустенитно-ферритного класса и т. д.

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.

а)



б)



а – диаграмма Шеффлера; б – определение структуры на примере стали 12Х18Н10Т

Рисунок 4.1 – Определение структуры стали

4.3 Технологические особенности сварки

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_d , 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 $d_э$ 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. $H_{np} = \delta$). Для двустороннего стыкового шва без разделки кромок с учетом частичного перекрытия валиков $H_{np} = 0,6\delta$.

При сварке 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 несплавлений 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.

Таблица 4.2 – Выбор диаметра электрода и сварочной проволоки

Способ сварки	Глубина проплавления H_{np} , мм			
	2	3...5	5...10	10...20
	Диаметр электрода (проволоки) $d_э$ (d_{np}), 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

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.

Для угловых швов 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 $F_з$, 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

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

где α – угол, под которым свариваются детали.

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_6 и площади разделки F_p :

$$F_n = F_3 + F_6 + F_p. \quad (4.5)$$

Площадь поперечного сечения валика шва можно найти по формуле

$$F_6 = \frac{3}{4}eg, \quad (4.6)$$

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_6' 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. Площадь можно определить по формуле

$$F_3 = bS, \quad (4.7)$$

где b – зазор между свариваемыми деталями, мм;

S – толщина свариваемых деталей, мм.

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:

$$F_3 = bH_{np}, \quad (4.8)$$

где H_{np} – 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

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

где c – величина притупления кромок сварного соединения, мм;

α – угол скоса кромки сварного соединения.

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 $30 \dots 40$ 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

$$F_1 = (6 \dots 8)d_э, \quad (4.10)$$

Для последующих проходов

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

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

$$n = \frac{F_n - F_1}{F_n} + 1. \quad (4.12)$$

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

$$I_{св} = \frac{\pi d_э^2}{4} j, \quad (4.13)$$

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

Покрытие	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

$$I_{св} = \frac{H_{np}}{k_n} 100, \quad (4.14)$$

где k_n – коэффициент пропорциональности, А/мм².

Значение коэффициента пропорциональности зависит от способа и условий сварки. Например, для сварки в защитном газе СО₂ при постоянном токе и обратной полярности с диаметром проволоки 1,2 – $k_n = 1,75$, с диаметром проволоки 1,6 – $k_n = 2,1$.

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

$$j = \frac{I_{св}}{d_s^2 \cdot 1,28}. \quad (4.15)$$

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

Таблица 4.4 – Допускаемая плотность тока в сварочной 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)

$$U_d = 20 + 0,04I_{св}. \quad (4.16)$$

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

$$U_d = 19 + 0,037I_{св}. \quad (4.17)$$

Для дуговой сварки плавящимся электродом в среде углекислого газа

$$U_d = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{d_{np}}} I_{св}. \quad (4.18)$$

Далее необходимо определить скорость сварки по формуле

$$V_{св} = \frac{\alpha_n I_{св}}{\gamma F_n}, \quad (4.19)$$

где α_n – коэффициент наплавки, г·А/ч;

γ – плотность наплавленного металла, г/см³.

Коэффициент наплавки для ручной сварки покрытыми электродами $\alpha_n = 8...10$ г / (А·ч); для сварки в СО₂ $\alpha_n = 12...14$ г / (А·ч); для сварки под флюсом $\alpha_n = 13...16$ г / (А·ч).

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

$$V_{n.пр} = \frac{\alpha_n I_{св}}{\gamma F_{пр}}, \quad (4.20)$$

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

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

4.5 Расчет норм времени

Составными частями технически обоснованной нормы времени являются подготовительно-заключительное время $t_{нз}$, основное время t_o , вспомогательное время $t_в$, время на обслуживание рабочего места $t_{обс}$, время на отдых и личные надобности (время регламентированных перерывов в работе) $t_{л}$.

Общее время на выполнение сварочной операции определяется по формуле

$$t_{св} = t_o + t_{нз} + t_в + t_{обс} + t_{л}, \quad (4.21)$$

где t_o – основное время, мин;

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

$t_в$ – 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

$$t_o = \frac{M_{нм}}{\alpha_n I_{св}}, \quad (4.22)$$

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

$$M_{нм} = F_{нм} L_{ш} \gamma; \quad (4.23)$$

$L_{ш}$ – 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 $t_{нз}$ 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 $t_{нз} = (0,02 \dots 0,04)t_o$, в единичном $t_{нз} = (0,10 \dots 0,20)t_o$.

Вспомогательное время определяется по формуле

$$t_{\text{в}} = t_{\text{э}} + t_{\text{кр}} + t_{\text{бр}} + t_{\text{кл}} + t_{\text{уз\delta}}, \quad (4.24)$$

где $t_{\text{э}}$ – время на смену электрода, мин;

$t_{\text{кр}}$ – время на осмотр и очистку свариваемых кромок, мин;

$t_{\text{бр}}$ – время на очистку швов от шлака и брызг, мин;

$t_{\text{кл}}$ – время на клеймение (установка одного знака), мин;

$t_{\text{уз\delta}}$ – время на установку и поворот детали, её закрепление, мин.

Время на смену электрода рассчитывается по формуле

$$t_{\text{э}} = t'_{\text{э}} \frac{F_n L_{\text{ш}}}{V_{\text{э}}}, \quad (4.25)$$

где $t'_{\text{э}}$ – время на смену одного электрода, мин;

$V_{\text{э}}$ – объем одного электрода, мм³.

Время зачистки кромок и очистки изделия от шлака и брызг металла

$$t_{\text{кр}} = t_{\text{бр}} = L_{\text{ш}}(0,6 + 1,2(n - 1)), \quad (4.26)$$

где n – количество проходов при сварке многослойных швов;

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

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

Время на установку и поворот изделия при массе изделия до 25 кг принимается $t_{\text{уз\delta}} = 3$ 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 $t_{\text{обс}} = 0,05t_o$; для механизированной и автоматической сварки $t_{\text{обс}} = (0,06 \dots 0,08)t_o$.

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 – $t_n = 0,1t_o$, в напряженном положении при работе в закрытых сосудах $t_n = 0,16t_o$, при работе на высоте с использованием приставных лестниц $t_n = 0,2 \cdot t_o$.

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 :

$$\theta_o = \frac{F_o}{F_{ш}}; \quad \theta_n = \frac{F_n}{F_{ш}}; \quad \theta_o + \theta_n = 1; \quad F_n + F_o = F_{ш}, \quad (4.27)$$

где F_o – площадь поперечного сечения основного металла в металле шва, мм²;
 F_n – площадь поперечного сечения наплавленного металла, мм²;
 $F_{ш}$ – площадь поперечного сечения шва, мм².

Площадь шва определяется по формуле

$$F_{ш} = \frac{2}{3}eH + \frac{3}{4}eg, \quad (4.28)$$

где H – высота шва.

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

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

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_o\theta_o + \mathcal{E}_n\theta_n, \quad (4.29)$$

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

\mathcal{E}_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

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

$$\text{Экв Ni} = \% \text{ Ni} + 30 \% \text{ C} + 30 \% \text{ N} + 0,5 \% \text{ Mn} + 10 \% \text{ B}.$$

Определив $Экв Cr$ и $Экв Ni$, 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

$$G_{np} = M_{нм}(1 + \psi), \quad (4.30)$$

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

Для ручной дуговой сварки определяется вес стержней. Для определения полного веса электродов необходимо учитывать вес покрытия

$$G_э = G_{np}K_{эп}, \quad (4.31)$$

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

Расход углекислого газа

$$G_{CO_2} = q_{CO_2}t_o, \quad (4.32)$$

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 CO_2

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 CO_2 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 CO_2 , зная, что в одном баллоне содержится 25 кг углекислоты.

Расход флюса определяется по формуле

$$G_{ф} = (1,2 \dots 1,4)G_{np}. \quad (4.33)$$

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.

Список литературы

1 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.: ил.

2 **Куликов, В. П.** Технология сварки плавлением и термической резки: учебник / В. П. Куликов. – Минск: Новое знание, 2019. – 463 с.: ил.

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

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

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

6 Технология сварки плавлением и термической резки / Под ред. В. А. Фролова. – Москва: Альфа-М; ИНФРА-М, 2011. – 445 с.