

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Оборудование и технология сварочного производства»

# ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ СВАРКИ ПЛАВЛЕНИЕМ И ТЕРМИЧЕСКОЙ РЕЗКИ

*Методические указания и задания к выполнению  
курсовой работы для студентов специальности  
1.36 01 06 «Оборудование и технология  
сварочного производства»*



Могилев 2015

УДК 621.791  
ББК 30.61  
Авт.знак Т 38

Рекомендовано к опубликованию  
учебно-методическим управлением  
ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет»

Одобрено кафедрой «Оборудование и технология сварочного производства», от 17 ноября 2015г., протокол № 3

Составитель д-р техн. наук, проф. В. П. Куликов

Рецензент д-р техн. наук, проф. М. Ф. Пашкевич

Методические указания предназначены для выполнения курсовой работы по дисциплине «Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки», предусмотрены учебным планом по данному предмету.

Учебное издание

## ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ СВАРКИ ПЛАВЛЕНИЕМ И ТЕРМИЧЕСКОЙ РЕЗКИ

Ответственный за выпуск  
Технический редактор  
Компьютерная верстка

В.П.Куликов  
А.Т. Червинская  
А.П. Полевнича

Подписано в печать . Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать трафаретная. Усл.печ.л. . Уч.-изд.л. . Тираж 115 экз. Заказ № \_\_\_\_\_

Издатель и полиграфическое исполнение  
Государственное учреждение высшего профессионального образования  
«Белорусско-Российский университет»  
ЛИ №02330/375 от 29.06.2004г.  
212005, г.Могилев, пр.Мира, 43

	© ГУВПО «Белорусско-Российский университет», 2015
--	---

## Содержание

1	Цель и задачи курсовой работы.....	4
2	Тематика курсовых работ.....	4
3	Содержание расчетно-пояснительной записки.....	4
4	Методика выполнения курсовой работы.....	5
4.1	Эскиз сварного соединения.....	5
4.2	Расчет параметров режима сварки.....	5
4.3	Расчет норм времени на выполнение сварочных операций.....	8
4.4	Определение химического состава и структуры стали.....	10
4.5	Технологические особенности сварки стали.....	11
4.6	Выбор сварочных материалов.....	12
4.7	Расчет расхода сварочных материалов.....	12
4.8	Расчет химсостава сварного шва и определение его структуры.....	13
4.9	Выбор сварочного оборудования.....	14
4.10	Расчет расхода электроэнергии.....	14
4.11	Карта технологического процесса.....	15
	Список литературы.....	16
	Приложение А. Варианты индивидуальных заданий.....	17

## 1 Цель и задачи курсовой работы

Основной целью курсовой работы является приобретение студентам навыков по практическому применению теоретических знаний, полученных при изучении курса «Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки».

При выполнении курсовой работы студенты должны расширить свои знания в области технологии сварки легированных сталей, проработать стандарты по основным способам дуговой сварки, провести необходимые расчеты для определения структуры стали в исходном состоянии и металла шва, выбрать необходимые сварочные материалы и оборудование, определить основные и дополнительные параметры режима сварки и выполнить нормирование сварочной операции.

## 2 Тематика курсовых работ

Темой курсовой работы является разработка технологии сварки стали, указанной в индивидуальном задании.

Индивидуальное задание студенту выдается преподавателем в виде обозначения сварного шва с указанием марки свариваемого металла, длины сварного шва и толщины металла. Например:

ГОСТ 14771-76-T1-УП-П-  $\Delta$ 4-50/100  
Толщина металла  $\delta=4$ мм, длина шва  $L=2$ м,  
сталь 12X18H9.

Возможные варианты индивидуальных заданий приведены в приложении А.

## 3 Содержание расчетно-пояснительной записки

Расчетно-пояснительная записка должна включать в себя следующие разделы.

Индивидуальное задание.

Введение.

1 Эскиз сварного соединения.

2 Расчет параметров режима сварки.

3 Расчет нормы времени на выполнение сварочных операций.

4 Определение химсостава и структуры стали в исходном состоянии.

5 Технологические особенности сварки сталей данного структурного класса.

6 Выбор сварочных материалов.

- 7 Расчет расхода сварочных материалов.
  - 8 Расчет химсостава сварного шва и определение его структуры.
  - 9 Выбор сварочного оборудования.
  - 10 Расчет расхода электроэнергии.
  - 11 Карта технологического процесса.
- Список литературы.

Курсовая работа оформляется в виде расчетно-пояснительной записки на листах формата А4. Необходимые иллюстрации приводятся в записке на отдельных листах.

Расчет Экв.Ni и Экв.Cr, определение структуры стали и распечатка диаграммы Шеффлера могут быть выполнены на ЭВМ. Для этого в компьютерном классе есть соответствующая программа.

## **4 Методика выполнения курсовой работы**

### ***4.1 Эскиз сварного соединения***

После получения индивидуального задания студенту необходимо проработать ГОСТ 2.312-72 «Условные изображения и обозначения швов сварных соединений», а также стандарты на сварные швы: ГОСТ 5264-80, ГОСТ14771-76, ГОСТ 8713-79, ГОСТ 11534-75, ГОСТ 11533-75, ГОСТ 23518-79. В стандарте, соответствующем заданию, студент должен найти тип своего сварного соединения. Исходными данными для этого являются сведения, приведенные в обозначении сварного шва — Т1, Т3, С2, С7 и т.д. С учетом размеров шва, зазоров между деталями, формы разделки кромок, указанных в стандарте, необходимо в масштабе сделать эскиз подготовки кромок и эскиз сварного соединения. На эскизах проставляются все размеры и обозначается шов.

Отдельно, в увеличенном масштабе, желательно на миллиметровой бумаге, делается эскиз шва для определения площади наплавленного металла, если ее трудно рассчитать по математическим формулам. Обычно это касается сварных соединений, выполненных под острым и тупым углами.

### ***4.2 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 или проволоки  $d_э$ , скорость сварки  $V_{св}$ .

Первоначально следует задаться диаметром проволоки или электрода  $d_э$ . Его значение зависит от толщины свариваемого металла и способа сварки. Примерные значения диаметров приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 — Выбор диаметров электродов и сварочных проволок

Толщина металла $\delta$ , мм	2	3—5	5—10	10—20
Диаметр электрода $d_s$ , мм				
Ручная сварка покрытыми электродами	2,5	3,0; 4,0	4,0; 5,0	5,0; 6,0
Полуавтоматическая 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

Затем определяют величину сварочного тока, которая, с одной стороны, зависит от требуемой глубины проплавления, с другой - от диаметра электрода. Требуемая глубина проплавления, в свою очередь, зависит от толщины металла и условий сварки. Для стыковых односторонних швов глубина проплавления равна толщине свариваемого металла,  $h=\delta$ , для двухсторонних швов  $h=0,5\delta$ . Для швов, выполняемых на остающейся подкладке  $h=\delta+1$  мм; для угловых швов глубину проплавления можно принять  $h=0,6\delta$ .

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

$$I_{св} = \frac{h}{k_n} \cdot 100, \quad (4.1)$$

где  $k_n$  — коэффициент пропорциональности, зависящий от условий сварки. Его определяют по таблице 4.2.

Таблица 4.2 — 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	—	—
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 уточняют диаметр проволоки по формуле

$$d_э = 1,13 \sqrt{\frac{I_{св}}{j}}, \quad (4.2)$$

где  $j$  — допустимая плотность тока, А/мм<sup>2</sup>. Ее значение находят по таблице 4.3.

Таблица 4.3 — Значение плотностей тока при автоматической и полуавтоматической сварке

Диаметр электрода, мм	<2	2	3	4	5
$j$ , А/мм <sup>2</sup>	90—200	60—120	45—90	35—60	30—50

Для ручной дуговой сварки силу сварочного тока выбирают в зависимости от диаметра электрода по формуле

$$I_{св} = \frac{\pi d^2}{4} \cdot j. \quad (4.3)$$

Плотность тока можно найти в таблице 4.4

Таблица 4.4 — Значения плотностей тока при ручной сварке

Вид покрытия электрода	Допускаемая плотность тока в электроде (А/мм <sup>2</sup> ) при $d_{эл}$ (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

Напряжение на дуге устанавливают в зависимости от способа сварки, а также от марки и диаметра электрода. Для ручной дуговой сварки  $U_2=20+0,04 \cdot I_{св}$  (ГОСТ95-77), для сварки под флюсом на токах до 1000А  $U_2=19+0,037 \cdot I_{св}$  (ГОСТ7012-77), для сварки в СО<sub>2</sub>

$$U_2 = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{d_э^{0,5}} I_{св} \pm 1 \quad (4.4)$$

Скорость сварки  $V_{св}$ , м/час, вычисляют по формуле

$$V_{св} = \frac{\alpha_n \cdot I_{св}}{\gamma \cdot F_n \cdot 100}, \quad (4.5)$$

где  $\alpha_n$  - коэффициент наплавки, г/(А · ч);

$I_{св}$  — сила сварочного тока, А;

$\gamma$  — плотность металла,  $\gamma=7,8\text{г/см}^3$ ;

$F_n$  — площадь поперечного сечения наплавленного металла за один проход,  $\text{см}^2$ .

Коэффициент наплавки для ручной сварки покрытыми электродами  $\alpha_n=(8—10)\text{ г/(А·ч)}$ ; для сварки в  $\text{CO}_2$   $\alpha_n=(12—14)\text{ г/(А·ч)}$ ; для сварки под флюсом  $\alpha_n=(13—16)\text{ г/(А·ч)}$ .

Площадь наплавленного металла зависит от типа сварного соединения. Для угловых швов (рисунок 4.1, а) она определяется как площадь треугольника, умноженная на коэффициент  $a$ , учитывающий форму шва:

$$F_n = \frac{K^2}{2} a \sin \alpha. \quad (4.6)$$

Для выпуклых швов  $a=1,2$ ; для вогнутых  $a=0,9$ ,  $\alpha$  — угол, под которым свариваются детали.

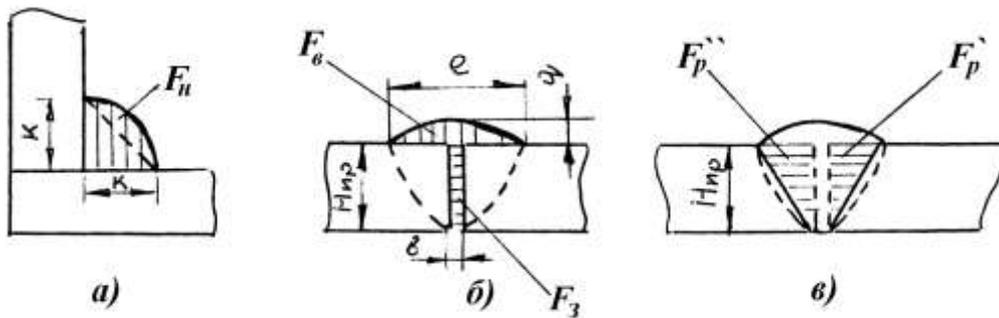


Рисунок 4.1 — Определение площади наплавленного металла

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  $F_3$  и площади валика шва  $F_6$  (рисунок 4.1, б):

$$F_3 = bH_{пр}, \quad (4.7)$$

где  $b$  — зазор между деталями;  
 $H_{пр}$  — глубина проплавления;

$$F_6 = \frac{3}{4}eq, \quad (4.8)$$

где  $e$  — ширина валика шва;  
 $q$  — высота валика шва.

При наличии разделки кромок площадь наплавленного металла равна (рисунок 4.1, в):

$$F_H = F_3 + F_B + F_p \quad (4.9)$$

При V-образной разделке  $F_p$  состоит из площади двух прямоугольных треугольников  $2F'_p$ :

$$F'_p = H_{np} \frac{(e-b)}{4}; F_p = H_{np} \frac{(e-b)}{2} \quad (4.10)$$

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

$$V_{п.пр.} = \frac{a_n \cdot I_{св}}{\gamma \cdot F_э \cdot 100}, \quad (4.11)$$

где  $F_э$  — площадь сечения электрода;  $F_э = \frac{\pi d_э^2}{4}$ , см<sup>2</sup>.

### 4.3 Расчет норм времени на выполнение сварочных операций

Общее время на выполнение сварочной операции  $t_{св}$  состоит из нескольких компонентов и определяется по формуле

$$t_{св} = t_o + t_{п.з.} + t_B + t_{обс} + t_n, \quad (4.12)$$

где —  $t_{п.з.}$  - подготовительно-заключительное время;  
 —  $t_o$  - основное время;  
 —  $t_B$  - вспомогательное время;  
 —  $t_{обс}$  - время на обслуживание рабочего места;  
 —  $t_n$  - время перерывов на отдых и личные надобности.

Основное время — это время на непосредственное выполнение сварочной операции. Оно определяется по формуле

$$t_o = \frac{M_{н.м.}}{\alpha_n \cdot I_{св}}, \quad (4.13)$$

где  $M_{н.п.}$  — масса наплавленного металла.

$$M_{н.п.} = F_H \cdot L_{ш} \cdot \gamma,$$

где  $F_H$  - площадь наплавленного металла;

$\gamma$  - плотность металла;

$L_{ш}$  - длина шва.

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

Если шов прерывистый, то

$$L_{ш} = \frac{L_{и}}{L_{шаг}} \cdot L_{у}, \quad (4.14)$$

где  $L_{у}$  — длина непрерывного участка шва;

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

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

При шахматном расположении прерывистых швов (например, 100Z200) полученное по формуле значение  $L_{ш}$  умножается на 2.

Рассчитанное по формуле (4.13) основное время сварки может быть проверено по формуле

$$t_o = \frac{L_{ш}}{V_{св}}, \quad (4.15)$$

где  $V_{св}$  — скорость сварки, вычисленная по формуле (4.5);  $t_o$  и  $t_o'$  могут отличаться в пределах погрешности вычислений.

Иногда при определении основного времени сварки вводится поправочный коэффициент  $K_{п}$ , зависящий от положения шва в пространстве. Для вертикальных швов  $K_{п}=1,25$ , для потолочных  $K_{п}=1,3$ , для неповоротных стыков труб  $K_{п}=1,35$  и т.д.

Подготовительно-заключительное время включает в себя такие операции, как получение производственного задания, инструктаж, получение и сдача инструмента, осмотр и подготовка оборудования к работе и т.д. При его определении общий норматив времени  $t_{п.з.}$  делится на количество деталей, выпущенных в смену. В серийном производстве  $t_{п.з.}=2—4$  % от  $t_o$ , в единичном производстве  $t_{п.з.}=10—20$  % от  $t_o$ . В курсовой работе можно принять  $t_{п.з.}=10$  % от  $t_o$ .

Вспомогательное время включает в себя время на смену электрода  $t_э$ , осмотр и очистку свариваемых кромок  $t_{кр}$ , очистку швов от шлака и брызг  $t_{бр}$ , клеймение швов  $t_{кл}$ , установку и поворот изделия, его закрепление  $t_{изд}$ :

$$t_э = t_э' \frac{F_n L_{и}}{V_э}, \quad (4.16)$$

где  $t_э'$  — время на смену одного электрода,  $t=5—10$  с;

$V_э$  — объем одного электрода;  $V_э = \frac{\pi d^2}{4} L_{эл}$ ;  $L_{эл}=350$  мм;

$F_n \cdot L_{ш}$  — объем наплавленного металла.

Время зачистки кромок или шва  $t_{кр.}(t_{бр.})$  вычисляют по формуле

$$t_{кр.}(t_{бр.})=L_{ш}(0,6+1,2(n_c-1)), \quad (4.17)$$

где  $n_c$  — количество слоев при сварке за несколько проходов;

$L_{ш}$  — длина шва, м

Время на установку клейма принимают 0,03 мин на один знак.

Время на установку, поворот и снятие изделия зависит от его массы. При массе изделия до 25 кг эти операции выполняются вручную. В курсовой работе это время можно принять равным  $t_{изд}=3$  мин.

При автоматической и полуавтоматической сварке к вспомогательному времени относят время заправку кассеты с электродной проволоки. Это время можно принять равным 5 мин.

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  $t_{обс}=0,05t_0$ ; для полуавтоматической и автоматической сварки  $t_{обс}=(0,06—0,08)t_0$ .

Время перерывов на отдых и личные надобности зависит от положения, в котором сварщик выполняет работы. При сварке в удобном положении  $t_n=0,07t_0$ , в неудобном положении  $t_n=0,1t_0$ , в напряженном положении при работе в закрытых сосудах  $t_n=0,16t_0$ , при работе на высоте с использованием приставных лестниц  $t_n=0,2t_0$ .

#### **4.4 Определение химсостава и структуры стали в исходном состоянии**

Химический состав стали, выданной в задании, определяется по справочной литературе [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.

Химический состав должен быть представлен в таблице.

Определение структуры стали осуществляется по диаграмме Шеффлера, которая должна быть начерчена в записке (рисунок 4.2). Для этого первоначально для стали рассчитываются эквивалентные значения хрома и никеля:

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

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

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

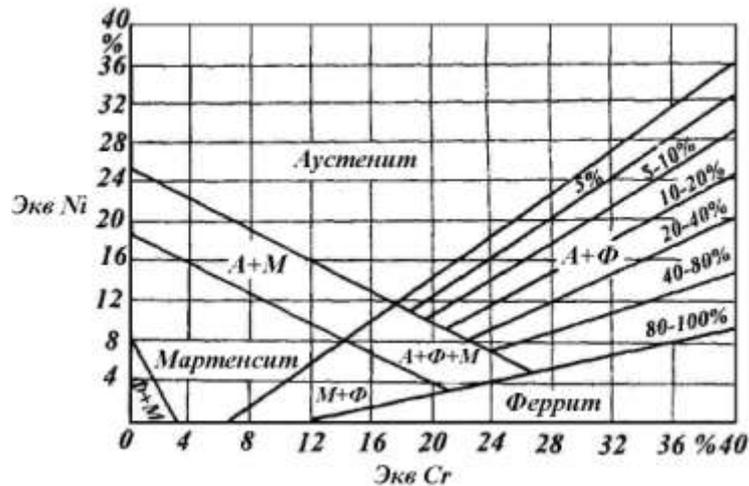


Рисунок 4.2 Диаграмма Шеффлера

#### 4.5 Технологические особенности сварки стали

Для описания технологии сварки нет необходимости искать в книге конкретно свою сталь. Достаточно найти технологию сварки сталей, которые относятся к одному структурному классу со сталью указанной в задании. 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.

При описании технологии необходимо первоначально остановиться на трудностях, которые встречаются при сварке данной группы сталей, затем раскрыть основные направления преодоления этих трудностей. Далее необходимо изложить особенности сварки стали тем способом сварки, который указан в задании.

#### 4.6 Выбор сварочных материалов

В зависимости от способа сварки необходимо выбрать для сварки электрод, проволоку, флюс, газ. При выборе следует пользоваться литературой [1-6]. В записке обязательно должна быть соответствующая ссылка. 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 [1].

#### 4.7 Расчет расхода сварочных материалов

Расчет расхода сварочной проволоки для автоматической и полуавтоматической сварки осуществляется по формуле

$$G_{\text{пр}} = M_{\text{нм}}(1 + \Psi), \quad (4.18)$$

где  $\Psi$  - коэффициент потерь.

Для сварки под флюсом коэффициент потерь  $\Psi = 0,03$  (3 %).

Для ручной сварки с учетом потерь на огарки электродов  $\Psi = 0,2$  (20 %).

Для сварки в  $\text{CO}_2$   $\Psi$  определяется по формуле

$$\Psi = 0,12 - 0,15 (12 - 15 \%), \quad (4.19)$$

где  $j$  — плотность тока;  $j = \frac{4I_{\text{св}}}{\pi d^2}$ ;

$d$  — диаметр проволоки.

Для ручной сварки по формуле (4.18) определяется вес стержней. Для определения полного веса электродов необходимо учитывать вес покрытия:

$$G_3 = G_{\text{пр}} \cdot K_{\text{в.п.}}, \quad (4.20)$$

$K_{\text{в.п.}}$  — коэффициент веса покрытия;  $K_{\text{в.п.}} = 1,3 - 1,5$ .

Расход углекислого газа определяется по формуле

$$G_{\text{co}_2} = q_{\text{co}_2} \cdot t_o, \quad (4.21)$$

где  $t_o$  — основное время сварки;

$q_{\text{co}_2}$  — удельный расход  $\text{CO}_2$  в л/мин.

Удельный расход  $\text{CO}_2$  зависит от диаметра проволоки и силы сварочного тока и определяется по таблице 4.5.

Таблица 4.5 — Удельный расход  $\text{CO}_2$

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 <sub>2</sub> , л/мин	8—9	8—9	9—12	14—15	15—18	18—20
-------------------------	-----	-----	------	-------	-------	-------

После вычисления объема CO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub>, зная, что в одном баллоне содержится 25 кг углекислоты.

Расход флюса определяется по формуле

$$G_{\text{фл}}=(1,2-1,4)G_{\text{пр}}, \quad (4.22)$$

где  $G_{\text{пр}}$  — расход сварочной проволоки.

#### 4.8 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 (рисунок 4.3). При этом в сварочную ванну попадают химические элементы из основного металла в количестве, пропорциональном доли основного металла в металле шва  $\theta_o$ , и из проволоки в количестве, пропорциональном доли наплавленного металла в металле шва  $\theta_n$ :

$$\theta_o = \frac{F_o}{F_u}; \quad \theta_n = \frac{F_n}{F_u}; \quad \theta_n + \theta_o = 1; \quad F_n + F_o = F_u, \quad (4.23)$$

где  $F_o$  — площадь основного металла в металле шва;

$F_n$  — площадь наплавленного металла в металле шва;

$F_u$  — площадь шва.

Площадь шва можно определить по формуле

$$F_u = \frac{2}{3}eH + \frac{3}{4}eq, \quad (4.24)$$

где  $e$  — ширина шва;

$q$  — высота валика или выпуклости;

$H$  — высота шва.

Высота стыкового шва равна глубине проплавления  $h$ . Высота углового шва  $H=h+a$ , где  $h$  приблизительно равна глубине проплавления  $h=0,6\delta$ ;  $a=0,7K$ ;  $e=1,4k$ .

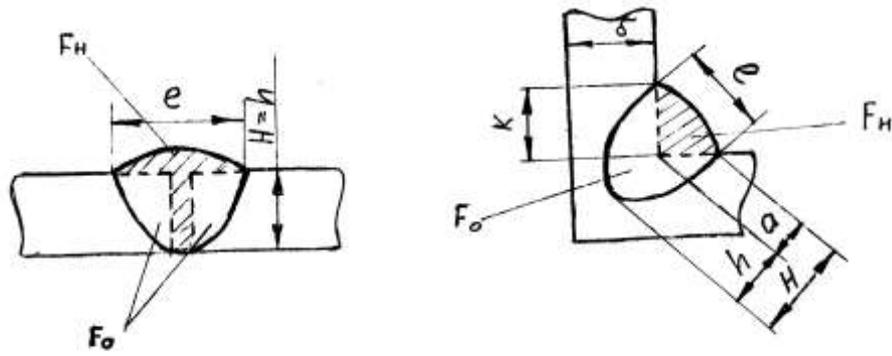


Рисунок 4.3 — Определение площади шва

После вычисления  $\theta_o$  и  $\theta_n$  необходимо рассчитать химический состав шва. Содержание каждого элемента вычисляется по формуле

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_o \cdot \theta_o + \mathcal{E}_{np} \cdot \theta_n, \quad (4.25)$$

где  $\mathcal{E}_o$  — содержание элемента в стали;

$\mathcal{E}_{np}$  — содержание элемента в проволоке.

После расчета химсостава по диаграмме Шеффлера определяется его структура.

При этом для определения эквивалентов по никелю и хромю необходимо пользоваться формулами, несколько отличающимися от формул, используемых для стали,

$$\text{ЭквNi} = \% \text{Ni} + 30\% \text{C} + 30\% \text{N} + 10\% \text{V} + 0,5\% \text{Mn}; \quad (4.26)$$

$$\text{ЭквCr} = \% \text{Cr} + 2\% \text{Al} + \% \text{V} + 5\% \text{Ti} + 1,5\% \text{S} + 2\% \text{Nb} + 2\% \text{Mo} + 1,5\% \text{W}. \quad (4.27)$$

Определив ЭквNi и ЭквCr, 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 вследствие более мелкого зерна.

#### 4.9 Выбор сварочного оборудования

Сварочное оборудование выбирается в зависимости от заданного способа сварки.

Для ручной сварки в качестве источника питания должен быть выбран выпрямитель. Трансформаторы использовать нельзя, т.к. сварка высоколегированных сталей производится на постоянном токе. Характеристика источника

питания для ручной сварки крутопадающая. Марка выпрямителя должна соответствовать рассчитанной силе сварочного тока. Обычно номинальный ток выпрямителя несколько превышает расчетное значение.

Для полуавтоматической сварки в  $\text{CO}_2$  выбирается полуавтомат, который поставляется в комплекте с источником питания. Кроме силы сварочного тока полуавтомат должен обеспечивать сварку проволокой выбранного диаметра, а также обеспечивать скорость подачи проволоки, полученную при расчете режима.

При автоматической сварке при выборе оборудования используются те же критерии - сила сварочного тока, диаметр проволоки, скорость подачи сварочной проволоки. Так как сварка производится на постоянном токе, должен быть выбран автомат, который комплектуется выпрямителем.

После выбора оборудования его технические характеристики должны быть представлены в виде таблиц [6, 7].

#### **4.10 Расчет расхода электроэнергии**

При расчете расхода электроэнергии обычно учитывают три составляющие:

$$P_{\Sigma} = P_{\Sigma_1} + P_{\Sigma_2} + P_{\Sigma_3}, \quad (4.28)$$

где  $P_{\Sigma_1}$  — расход электроэнергии в сварочной дуге;

$P_{\Sigma_2}$  — расход электроэнергии от холостого хода источника питания при перерывах в сварке;

$P_{\Sigma_3}$  — расход электроэнергии от работы вентилятора источника питания.

В курсовой работе допускается рассчитать только первую составляющую:

$$P_{\Sigma} = \frac{I_{св} U_{д} t_{о}}{\eta}, \quad (4.29)$$

где  $I_{св}$  — сила сварочного тока;

$U_{д}$  — напряжение на дуге;

$t_{о}$  — основное время сварки;

$\eta$  — КПД источника питания.

Значения КПД некоторых источников питания приведены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 - Коэффициент полезного действия источников питания

Источник питания	ВД-201	ВД-306 ВДУ-305 ВСК-500	ВДГ-301 ВДГ-302 ВСЖ-303 ВД-303 ВДУ-601	ВДУ-506	ВДУ-1001 ВДУ-1201 ВДУ-504 ВДГ-601 ВДУ-505	ВДУ-1601	ВДГ-502 ВДМ-1001 ВДМ1601
к.п.д, %	57	70	75	79	82	84	90

#### 4.11 Карта технологического процесса

Карта технологического процесса представляет собой сводный документ технологического процесса, в котором приводятся все его параметры.

Пример карты:

Наименование операции	Обозначение шва	Сварочные материалы	Сварочное оборудование	Режим сварки					Время сварки	
				Ø, мм	Исв, А	Уд	Усв м/час	Упп А/час	t <sub>0</sub> мин	t <sub>св</sub> мин
Сварка деталей	ГОСТ 14771-76 ТИ-УП-П- ▴4	Проволока Св08Г2С- расход - защитный газ СО <sub>2</sub> - расход	Полуавтомат ПДГ-312							

#### Список литературы

1 Куликов, В. П. Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки/В.П.Куликов.-Минск: Экоперспектива, 2003.-416 с.

2 Куликов, В. П. Технология и оборудование сварки плавлением/В.П.Куликов.-Могилев: ММИ, 1998.-256 с.

3 Акулов, А. И. Технология и оборудование сварки плавлением/А.И.Акулов.-М.: Машиностроение, 1977.- 432 с.

4 Сварка в машиностроении: справочник.-М.: Машиностроение, 1978—1979.-Т.1-4.

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

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

7 Оборудование для дуговой сварки/Под ред. В. В. Смирнова. — Л.: Энергоатомиздат, 1986.—655 с.

**Приложение А*****Варианты индивидуальных заданий***

- 1 ГОСТ 5264-80-С5;  $\delta=4$  мм;  $L=2$  м; 08X18H10.
- 2 ГОСТ 14771-76-С7-А-УП;  $\delta=8$  мм;  $L=4$  м; 15X25Т.
- 3 ГОСТ 8713-79-С29-АФф;  $\delta=12$  мм;  $L=10$  м; 06X18H11.
- 4 ГОСТ 11534-75-ТI;  $\beta=120^0$ ;  $\delta=5$  мм;  $L=2$  м; 12X17.
- 5 ГОСТ 11534-75 ТI;  $\beta=60^0$ ;  $\delta=4$  мм;  $L=5$  м; 10X17H13M3Т.
- 6 ГОСТ 23518-79 Т5-УП-П-100/200;  $\beta=60^0$ ;  $\delta=5$  мм;  $L=4$  м; 08X22H6Т.
- 7 ГОСТ 14771-76-С4-УП-П;  $\delta=3$  мм;  $L=3$  м; 12X18H10Т.
- 8 ГОСТ 8713-79-С4-АФф;  $\delta=4$  мм;  $L=2$  м; 08X21H6M2Т.
- 9 ГОСТ 11534-75-Т5;  $\beta=45^0$ ;  $\delta=3$  мм;  $L=3$  м; 15X12HMФ.
- 10 ГОСТ 11533-75Т3-А;  $\beta=120^0$ ;  $\delta=6$  мм;  $L=8$  м; 08X17M2Т.
- 11 ГОСТ 23518-79-Т2-УП-П-50Z100  $\beta=120^0$ ;  $\delta=4$  мм;  $L=2$  м; 06X18H11.
- 12 ГОСТ 5264-80-ТI-Δ4 100/300;  $\delta=4$  мм;  $L=3$  м; 20X23H13.
- 13 ГОСТ 8713-79-С5-АФo;  $\delta=12$  мм;  $L=10$  м; 08X22H6Т.
- 14 ГОСТ 11534-75-Т5;  $\beta=60^0$ ;  $\delta=6$  мм;  $L=3$  м; 03X16H15M3.
- 15 ГОСТ 11534-75-Т1;  $\beta=45^0$ ;  $\delta=6$  мм;  $L=6$  м; 08X17M2Т.
- 16 ГОСТ 23518-79-У2 УП-П;  $\beta=120^0$ ;  $\delta=4$  мм;  $L=5$  м; 10X17H13M2Т.
- 17 ГОСТ 5264-80-С6;  $\delta=4$  мм;  $L=8$  м; 15X25Т.
- 18 ГОСТ 14771-76-Т3-УП-П-Δ5-50/100;  $\delta=5$  мм;  $L=2$  м; 12X16H13M2Б.
- 19 ГОСТ 11534-75-У1;  $\beta=120^0$ ;  $\delta=5$  мм;  $L=3$  м; 10X17H13M3Т.
- 20 ГОСТ 11534-75-Т5 50/100;  $\beta=45^0$ ,  $\delta=6$  мм;  $L=4$  м; 20X13.
- 21 ГОСТ 23518-79-Т6-П-УП;  $\beta=120^0$ ;  $\delta=5$  мм;  $L=6$  м; 12X18H10Т.
- 22 ГОСТ 16037-80-У17-Р-Δ5;  $\delta=5$  мм;  $d=160$  мм; 03X18H11.
- 23 ГОСТ 14771-76-С6-УП-А;  $\delta=5$  мм  $L=4$ м; 03X22H6M2.
- 24 ГОСТ 5264-80-ТI-Δ6-100/300;  $\delta=6$  мм;  $L=6$  м; 06X18H11.
- 25 ГОСТ 8713-79-С47-АФ;  $\delta=10$  мм;  $L=8$  м; 08X21H6M2Т.
- 26 ГОСТ 23518-79-У3-УП-П;  $\beta=120^0$ ;  $\delta=4$  мм;  $L=4$  м; 07X18H10Т.
- 27 ГОСТ 16037-80-С5-Р;  $\delta=3$  мм;  $d=208$  мм; 08X22H6Т.
- 28 ГОСТ 14771-76-ТI-УП-П-Δ3-150/300;  $\delta=4$  мм;  $L=3$  м; 06X18H11.
- 29 ГОСТ 8713-79-С7-АФ;  $\delta=10$  мм;  $L=5$  м; 03X16H15M3.
- 30 ГОСТ 14771-76-НI-УП-П-Δ5-50/200;  $\delta=4$  мм;  $L=5$  м; 08X17H15M3.
- 31 ГОСТ 23518-79-Т5-УП-П-100/200;  $\beta=120^0$ ;  $\delta=5$  мм;  $L=6$  м; 15X25Т.
- 32 ГОСТ 16037-80-У16-3П-Δ4;  $\delta=4$  мм;  $d=100$  мм; 20X23H13.

- 33 ГОСТ 5264-80-П-Δ4;  $\delta=4$  мм; L=3 м; 06X18H11.
- 34 ГОСТ 14771-76-C7-УП-П;  $\delta=4$  м; L=4 м; 08XH10.
- 35 ГОСТ 8713-79-C7-AΦ;  $\delta=10$  м; L=8 м; 03X18H11.
- 36 ГОСТ 14771-76-T3-Δ5;  $\delta=5$  мм; L=4 м; 03X16H15M3.
- 37 ГОСТ 5264-80-C6;  $\delta=4$  мм; L=6 м; 10X17H13M3T.
- 38 ГОСТ 8713-79C5-A·Φ<sub>0</sub>;  $\delta=16$  м; L=8 м; 08X17M3T.
- 39 ГОСТ 14771-76-C4-УП-A;  $\delta=5$  мм, L=5 м; 12X17.
- 40 ГОСТ 5264-80T1-Δ5;  $\delta=5$  м; L=3 м; 20X13.
- 41 ГОСТ 14771-76-T3-УП-П Δ4=50/100;  $\delta=4$  мм; L=2 м; 15X25T.
- 42 ГОСТ 8713-79-C47 AΦ;  $\delta=8$  мм; L=4 м; 08X22H6T.
- 43 ГОСТ 14771-76-T1-УП-A Δ5 мм;  $\delta=5$  мм; L=6 м; 08X17M2T.
- 44 ГОСТ 11533-75 T3-A;  $\beta=120^0$ ;  $\delta=5$  мм; L=6 м; 12X18H10T.
- 45 ГОСТ 23518-79 T6-УП-П;  $\beta=120^0$ ;  $\delta=4$  мм; L=3 м; 03X18H11.
- 46 ГОСТ 5264-80 C5;  $\delta=4$  мм; L=4 м; 10X17H13M3T.
- 47 ГОСТ 8713-79-C7-AΦ;  $\delta=12$  мм; L=8 м; 15X25T.
- 48 ГОСТ 14771-76-T3-УП-П Δ4 100Z200;  $\delta=5$  м; L=6 м; 12X17.
- 49 ГОСТ 14771-76-Н-УП-П Δ5;  $\delta=5$  мм; L=6 м; 08H17H15M3.
- 50 ГОСТ 11534-75 T3;  $\beta=120^0$ ;  $\delta=4$  м; L=3 м; 20X22H6T