

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
"БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ"

Кафедра "Оборудование и технология сварочного производства"

ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ И СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

*Методические указания к практическим занятиям для студентов
специальности 1-54 01 02 "Методы и приборы контроля качества и
диагностики состояния объектов" очной формы обучения*



Могилев 2016

Практическое занятие №1

“Определение параметров режима ручной дуговой сварки покрытым плавящимся электродом. Определение структуры свариваемой легированной стали”

1. Цель.

Изучить принцип ручной дуговой сварки покрытым плавящимся электродом, а также методики расчета параметров режима сварки и определения структуры свариваемой стали в случае, если она легированная.

2. Общие положения.

В 1881 г. русский ученый Н.Н. Бенардос предложил частично расплавлять и сваривать металл с помощью электрической дуги, горящей между изделием и угольным электродом. В 1888 г. русский инженер Н.Г. Славянов предложил вместо угольного электрода использовать металлический, который в процессе сварки плавится и заполняет зазор между деталями.

Положение изменилось в 1907 г., когда шведский ученый О. Кельберг предложил применять для сварки покрытые металлические электроды. Покрытие в процессе сварки разлагалось, обеспечивая стабильное горение дуги, а также газовую и шлаковую защиту расплавленного металла от воздуха.

В 20-е годы ручная дуговая сварка начинает получать широкое распространение при изготовлении уже достаточно ответственных конструкций – котлов, мостов, судов.

Схема процесса ручной дуговой сварки приведена на рис. 1. К электроду и свариваемому изделию для образования и поддержания сварочной дуги от источника сварочного тока подводится постоянный или переменный ток.

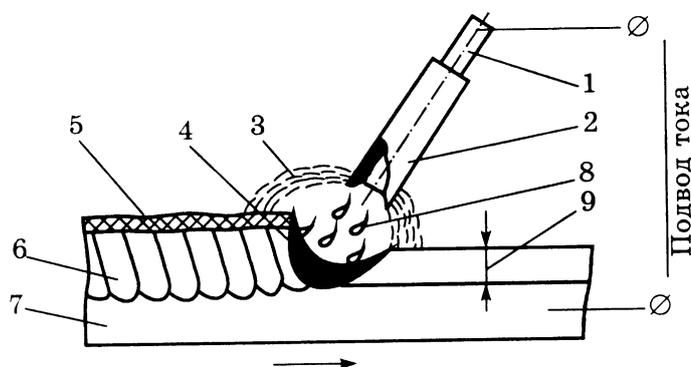


Рисунок 1 – Схема ручной дуговой сварки:

- 1 – электродный стержень; 2 – покрытие электрода; 3 – газовая атмосфера дуги;
- 4 – сварочная ванна; 5 – затвердевший шлак; 6 – закристаллизовавшийся металл шва;
- 7 – свариваемое изделие; 8 – капли расплавленного электродного металла;
- 9 – глубина проплавления

Если положительный полюс источника питания (анод) присоединен к изделию, говорят, что сварка производится на прямой полярности. Если на изделии отрицательный полюс, полярность обратная. Для зажигания дуги необходимо напряжение не менее 50 В. Дуга расплавляет металлический стержень электрода, его покрытие и основной металл. Металлический стержень электрода в виде отдельных капель, покрытых шлаком, переходит в сварочную ванну. В сварочной ванне электродный металл смешивается с расплавленным металлом изделия (основным металлом), а расплавленный шлак всплывает на поверхность.

Расстояние от активного пятна на расплавленной поверхности электрода до другого активного пятна дуги на поверхности сварочной ванны называется длиной дуги. Расплавляющееся покрытие электрода образует вокруг дуги и над поверхностью сварочной ванны газовую атмосферу, которая, отесняя воздух из зоны сварки, препятствует взаимодействию его с расплавленным металлом. В газовой атмосфере присутствуют также пары основного и электродного металлов и легирующих элементов. Шлак, покрывая капли электродного металла и поверхность сварочной ванны, способствует предохранению их от контакта с воздухом и участвует в металлургическом взаимодействии с расплавленным металлом.

Кристаллизация металла сварочной ванны по мере удаления дуги приводит к образованию шва, соединяющего свариваемые детали. Затвердевающий шлак образует на поверхности шва шлаковую корку.

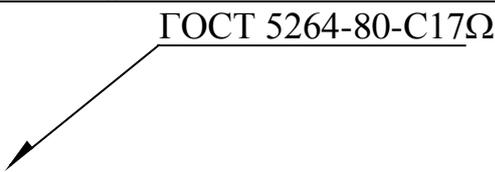
Основными параметрами режима ручной дуговой сварки являются:

- 1) диаметр электрода,
- 2) сила сварочного тока;
- 3) напряжение на дуге.

Характер сварного соединения, получаемого способом ручной дуговой сварки покрытым плавящимся электродом, его размеры, подготовка кромок регламентируются ГОСТ 5264–80 "Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры" и ГОСТ 11534–75 "Ручная дуговая сварка. Соединения сварные под острым и тупым углом".

Пример обозначения сварного шва на чертеже и его расшифровки представлен в табл. 1.

Таблица 1 – Обозначение сварного шва на чертеже

<p>Стыковое сварное соединение с V образной разделкой кромок, выполненное ручной дуговой сваркой покрытыми электродами, усиление шва снято</p>	
--	--

Способы выполнения швов по длине зависят от размеров сварной конструкции. Условно считают швы длиной до 250 мм короткими, длиной – 250...1000 мм – средними, а более 1000 мм – длинными.

Короткие швы по длине обычно сваривают на проход (рис. 2, а). Швы средней длины сваривают от середины к краям (рис. 2, б), либо обратноступенчатым способом (рис. 2, в). Длинные швы однопроходных стыковых и угловых соединений и первый проход многопроходных швов сваривают от середины к концам обратноступенчатым способом (рис. 2, г), а в соединениях с угловыми швами также от середины к концам обратноступенчатым способом (рис. 2, г, д).

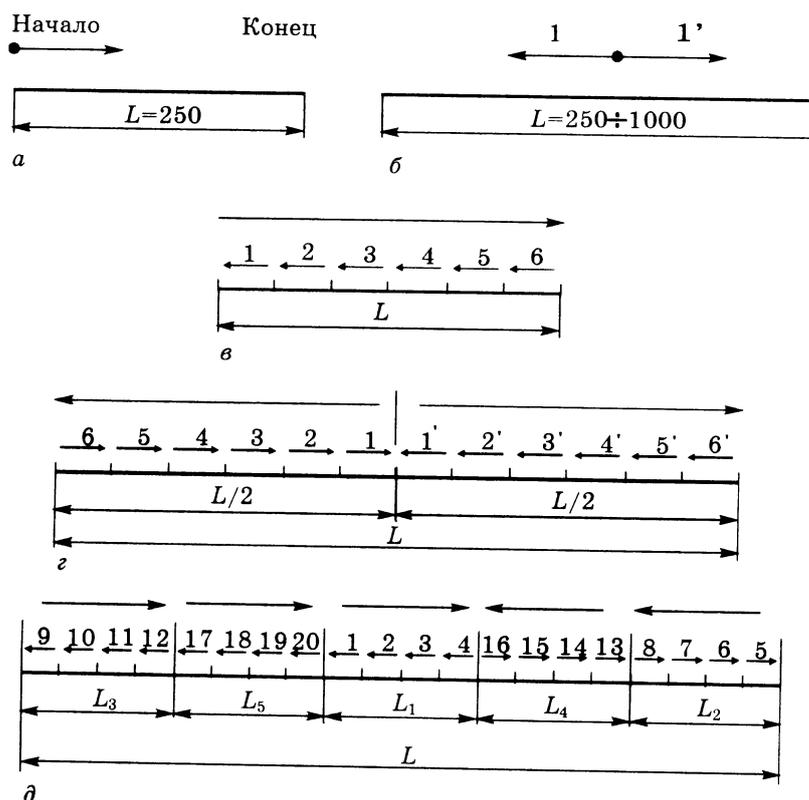


Рисунок 2 – Способы выполнения сварных швов по длине

Обратноступенчатая последовательность сварки при правильном выборе длины ступени является наиболее эффективным методом уменьшения остаточных деформаций. Достигается это за счет того, что разбивка шва на участки производится с таким расчетом, чтобы при окончании сварки каждого последующего участка начало предыдущего участка имело определенную температуру.

При сварке стыковых или угловых швов большого сечения шов выполняется несколькими слоями. При этом каждый слой средней и верхней части шва может выполняться как за один проход (рис. 3, а), так и за два и более проходов (рис. 3, б). С точки зрения уменьшения угловых остаточных деформаций первый метод предпочтительнее второго. Однако слой шириной 14–16 мм бывает затруднительно сваривать в один проход. Также в таких

швах в связи с большим сечением проходов наблюдается худшие механические свойства, поэтому чаще применяется многопроходный способ сварки швов большого сечения.

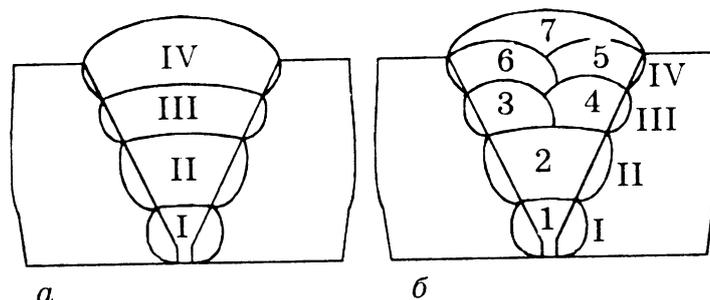


Рисунок 3 – Способы заполнения разделки кромок по сечению

При сварке многопроходных швов стремятся сварку всех проходов выполнять на одних и тех же режимах. Исключением является первый проход. При ручной сварке многопроходных стыковых швов первый проход выполняется обычно электродами диаметром – 2,5; 3 мм, так как применение электродов большего диаметра часто затрудняет провар корня шва.

3. Индивидуальное задание.

Исходные данные:

Способом ручной дуговой сварки покрытым плавящимся электродом свариваются две пластины стыковым двусторонним швом без разделки кромок (стыковое соединение) (рис. 4). Толщину металла $s = s_1$, длину изделия $L_{изд}$, материал пластин, а также ширину валика e для соответствующего варианта см. в табл. 2.

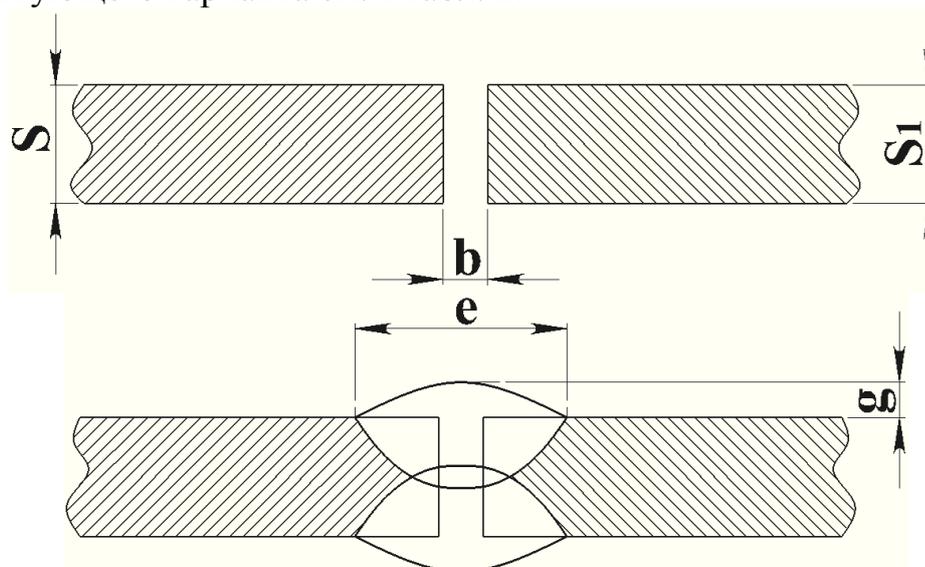


Рисунок 4 – Стыковой сварной шов (ГОСТ 5264–80–С7)

Таблица 2 – Исходные данные

№ п/п	s = s ₁ , мм	Лизд, м	материал	е, мм (не более)
1	4	5	10X17H13M3T	9
2	5	5	10X17H13M3T	9
3	6	5	10X17H13M3T	9
4	4	2	17X18H9	8
5	4	2	17X18H9	8
6	4	2	17X18H9	8
7	5	3	10X18H18Ю4Д	9
8	5	3	10X18H18Ю4Д	9
9	5	3	10X18H18Ю4Д	9
10	6	4	20X23H13	8
11	6	4	20X23H13	8
12	6	4	20X23H13	8
13	4	6	20X25H20C2	7
14	5	6	20X25H20C2	8
15	6	6	20X25H20C2	9
16	4	1	3X16H22B6Б	9
17	4	1	3X16H22B6Б	8
18	4	1	3X16H22B6Б	7
19	5	3	08X16H9M2	8
20	5	3	08X16H9M2	8
21	2	2,5	36X18H25C2	7
22	2	3,5	36X18H25C2	8

23	2	4,5	06ХН28МДТ	7
24	2	5,5	06ХН28МДТ	8
25	2	6,5	ХН35ВТЮ	7
26	3	1	06ХН46Б	9
27	3	2	06ХН46Б	7
28	3	3	ХН70БДТ	9
29	3	4	ХН70БДТ	8
30	3	5	15Х11МФБ	7

$b_{НОМ} = 2 \text{ мм}$ – зазор между деталями.

Пред. откл. для $b = \pm 1 \text{ мм}$.

$g = 1,5 \text{ мм}$ – высота валика шва.

Требуется:

1. рассчитать параметры режима сварки;
2. определить структуру свариваемой стали.

4. Порядок проведения занятия.

4.1. Изучить общие положения касательно вопроса ручной дуговой сварки плавящимся электродом.

4.2. Получить у преподавателя индивидуальное задание согласно условию п. 3 и исходным данным из табл. 2 и рис. 4.

4.3. По табл. 3 для заданной толщины $s = s_1$ подбираем диаметр электрода $d_{Э}$.

Таблица 3 – Выбор диаметров электродов и сварочных проволок

Толщина металла δ , мм	2	3—5	5—10	10—20
Диаметр электрода $d_{Э}$, 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

4.4. Определяем величину сварочного тока по формуле:

$$I_{СВ} = (\pi \cdot d_{Э}^2 / 4) \cdot J \text{ (А)}, \quad (1)$$

где J – плотность тока, A/mm^2 .

4.5. Обосновываем тип электродного покрытия для сварки конкретной стали, после чего по табл. 4 для выбираем плотность тока.

Таблица 4 – Значения плотностей тока при ручной дуговой сварке

Вид покрытия электрода	Допускаемая плотность тока в электроде (A/mm^2) при $d_{эл}(mm)$			
	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

4. Определяем напряжение на дуге при ручной дуговой сварке по формуле:

$$U_D = 20 + 0,04 \cdot I_{CB} (B) \quad (2)$$

5. Находим скорость сварки по формуле:

$$V_{CB} = (\alpha_H \cdot I_{CB}) / (\gamma \cdot F_H \cdot 100) (M/ч) \quad , \quad (3)$$

где F_H – площадь поперечного сечения наплавленного металла за один проход, cm^2 ;

α – коэффициент наплавки, $г/(A \cdot ч)$;

γ – плотность стали, $г/cm^3$.

Коэффициент наплавки для РДС покрытыми электродами выбираем из диапазона 8–10 $г/(A \cdot ч)$.

Площадь наплавленного металла стыкового шва определяется как сумма площадей геометрических фигур, которые заполняются электродным металлом при сварке. Для стыкового шва, выполненного без разделки кромок (согласно исходным данным), площадь наплавленного металла состоит из площади зазора между деталями F_3 и площади валика шва F_B (рис. 5):

$$F_H = F_3 + F_B = b \cdot h_{ПР} + 0,75 \cdot e \cdot q, \quad (4)$$

где b – зазор между деталями, mm ;

e – ширина валика шва, mm ;

q – высота валика шва, mm .

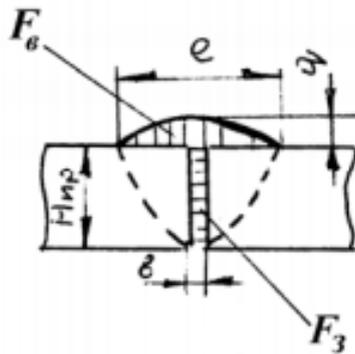


Рисунок 5 – Определение площади наплавленного металла

Глубина проплавления для стыковых двусторонних швов равна:

$$h_{\text{ПР}} = 0,5 \cdot s \quad (5)$$

Плотность стали принимаем $\gamma = 7,9 \text{ г/см}^3$.

6. С помощью диаграммы Шеффлера (рис. 6) и специальных расчётных формул определяем эквивалентные значения хрома и никеля:

$$\text{Экв Cr} = \%Cr + \%Mo + 2\%Ti + 2\%Al + \%Nb + 1,5\%Si + \%V \quad (6)$$

$$\text{Экв Ni} = \%Ni + 30\%C + 30\%N + 0,5\%Mn \quad (7)$$

В случае отсутствия элемента в обозначении стали в расчетах принять содержание ниобия – 0,8%, кремния 0,8%, марганца – 1,5%.

По значениям эквивалентов Cr и Ni на диаграмме Шеффлера наносим точку, соответствующую структуре свариваемой стали. Делаем соответствующий вывод.

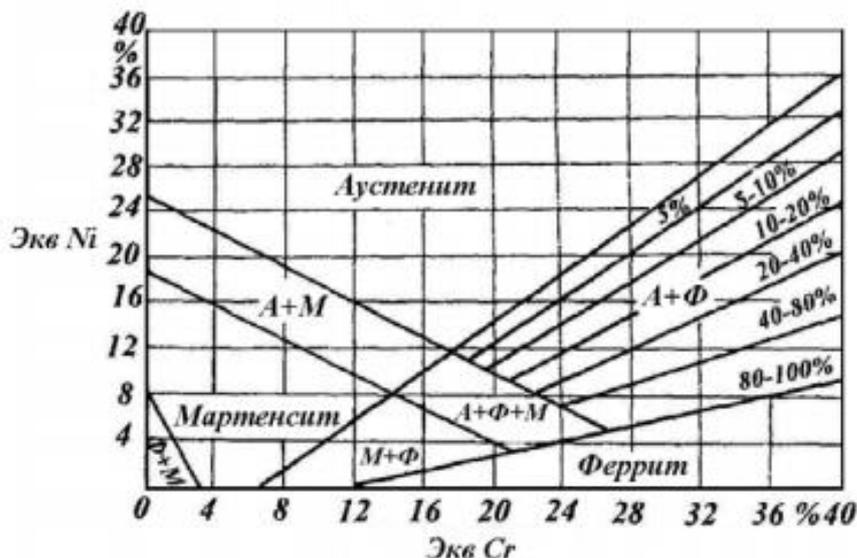


Рисунок 3 – Диаграмма Шеффлера

5. Контрольные вопросы.

5.1. История возникновения ручной дуговой сварки плавящимся электродом.

5.2. Сущность ручной дуговой сварки плавящимся электродом.

5.3. Основные параметры режима ручной дуговой сварки плавящимся электродом.

5.4. Понятие сварочной дуги. Длина сварочной дуги.

5.5. Способы выполнения сварных швов по длине.

5.6. Обозначение сварных швов, полученных способом ручной дуговой сварки плавящимся электродом, на чертежах.

5.7. Порядок расчета основных параметров режима ручной дуговой сварки плавящимся электродом.

5.8. Порядок определения структуры легированной стали по диаграмме Шеффлера.

6. Литература.

6.1. Куликов, В.П. Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки: учеб. пособие / В.П. Куликов. – Мн.: Экоперспектива, 2003. – 415 с.

6.2. Куликов, В.П. Управление технологическими процессами сварки на основе мониторинга дефектности / В.П. Куликов. – Мн.: Экоперспектива, 2006. – 335 с.

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

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

Практическое занятие №2

"Определение параметров режима автоматической сварки под флюсом для получения сварного соединения заданного типа"

1. Цель.

Изучить принцип дуговой сварки под флюсом, а также методику расчета параметров режима сварки.

2. Общие положения.

Сущность способа.

Схема процесса сварки под флюсом приведена на рис. 1. Ее выполнение возможно сварочными полуавтоматами и автоматами. В

качестве электрода при сварке используется сварочная проволока 1, подвод тока к которой осуществляется скользящим контактом 2. Подача проволоки в зону сварки производится подающими роликами 3. Зона сварки закрыта плотным слоем флюса 4, который высыпается из бункера во время движения сварочного автомата. В расплавленном флюсе 5 газами и парами флюса и расплавленного металла образуется полость – газовый пузырь 6, в котором горит сварочная дуга. Кристаллизация расплавленного металла сварочной ванны 7 приводит к образованию сварного шва 8. Затвердевший флюс образует на поверхности шва шлаковую корку 9.

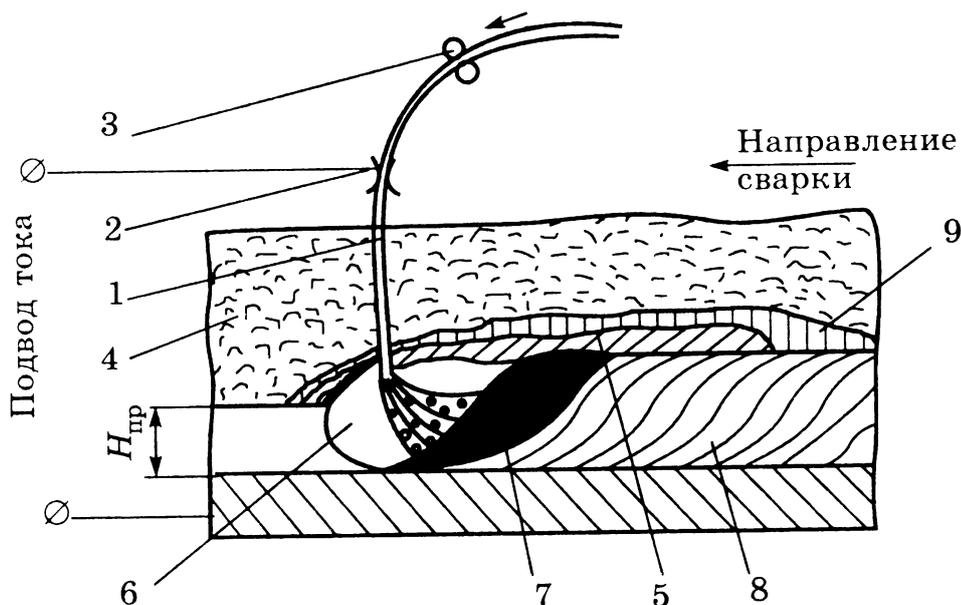


Рисунок 1 – Схема процесса сварки под флюсом

Флюс эффективно защищает расплавленный металл от взаимодействия с воздухом. Металлургические взаимодействия между расплавленным металлом и шлаком способствуют получению металла шва требуемого химического состава и механических свойств.

Очень существенным является, казалось бы, небольшое отличие от ручной сварки – расположение токоподвода на малом расстоянии от дуги – вылет электрода 40–70 мм. Это позволяет использовать повышенные сварочные токи – до 2000 А. При ручной сварке сделать это невозможно, т.к. происходит перегрев электрода и разрушение его покрытия. Кроме того, плотный слой флюса предотвращает выдувание металла сварочной ванны, которое происходит вследствие большого давления дуги при повышенных токах. Поэтому плотность сварочного тока при сварке под флюсом достигает 60 А/мм², в то время как при ручной 10–15 А/мм². В результате повышается производительность процесса сварки, увеличивается глубина проплавления металла.

Существуют разновидности сварки под флюсом, когда в зону сварки одновременно подаются две или несколько сварочных проволок и

соответственно плавление металла осуществляется двумя или несколькими дугами (двухдуговая и многодуговая сварка). Применяются эти способы в различных случаях: для увеличения тепловой мощности источника нагрева (например, при сварке алюминия, обладающего высокой теплопроводностью), для увеличения производительности процесса сварки, для придания двум швам различных размеров и форм.

Макрошлиф сварного соединения, полученного при двух дуговой сварке, приведен на рис. 2.



Рисунок 2 – Сварное соединение сварки, полученное при двух дугах

Параметры режима сварки.

Основными параметрами режима сварки под флюсом являются:

- а) диаметр сварочной проволоки;
- б) сила сварочного тока;
- в) напряжение на дуге;
- г) скорость сварки;
- д) вылет электрода;
- е) род тока и полярность.

Диаметр сварочной проволоки зависит от толщины свариваемого металла и способа сварки (полуавтоматическая или автоматическая). Для полуавтоматической сварки диаметр проволоки обычно принимают 1,6; 2,0 мм, для автоматической – 2–6 мм.

Сила сварочного тока зависит от требуемой глубины проплавления и может быть определена из соотношения:

$$I_{св} = \frac{H_{пр}}{k_h} 100$$

где $H_{пр}$ – требуемая глубина проплавления, мм; k_h — коэффициент пропорциональности, зависящий от условий сварки. Значения k_h приведены

в табл. 1.

Таблица 1 – Коэффициент условий сварки

Марка флюса	Диаметр электр. пр. мм	k_h		
		Переменный ток	Постоянный ток	
			Прямая полярность	Обратная полярность
ОСЦ-45	2	1,30	1,15	1,45
	3	1,15	0,95	1,30
	4	1,05	0,85	1,15
	5	0,95	0,75	1,10
	6	0,90		
АН-348А	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	-	-

Глубина проплавления зависит от типа сварного соединения. Для односторонних стыковых швов, выполняемых на съемной подкладке глубина проплавления обычно равна толщине металла (рис. 3, а). Если подкладка стальная остающаяся $H_{\text{пр}} = \delta + 1$ мм (рис. 3, б).

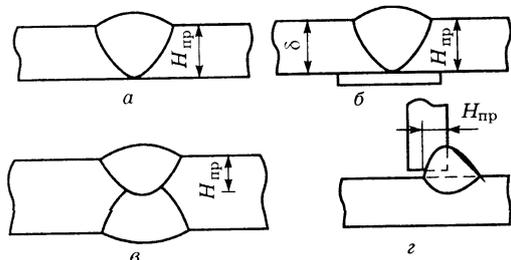


Рисунок 3 – Определение глубины проплавления для различных типов швов

Двухсторонние швы выполняются таким образом, чтобы они перекрывали друг друга, поэтому $H_{\text{пр}} = 0,6 \cdot \delta$ (рис. 3, в). Для угловых швов глубина проплавления также может быть принята $H_{\text{пр}} = 0,6 \cdot \delta$ (рис. 3, г).

Напряжение на дуге определяется соотношением:

$$U_{\delta} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{d_{\delta}}} \cdot I_{\text{св}} (В)$$

Скорость сварки может быть определена по формуле:

$$v_{\text{св}} = \frac{\alpha_n \cdot I_{\text{св}}}{A_n \cdot \gamma \cdot 100} \left(\frac{М}{ч} \right),$$

где α_H – коэффициент наплавки, г/(А·ч); I_{CB} – сила сварочного тока, А;

γ – плотность наплавленного металла (для стали $\gamma = 7,8$ г/см³);
 A_H – площадь поперечного сечения наплавленного металла за один проход, см².

Коэффициент 100 служит для перевода скорости из единиц см/ч в м/ч.

Коэффициент наплавки при сварке под флюсом имеет значения $\alpha_H = 12-18$ г/(А·ч). Площадь поперечного сечения наплавленного металла зависит от типа шва.

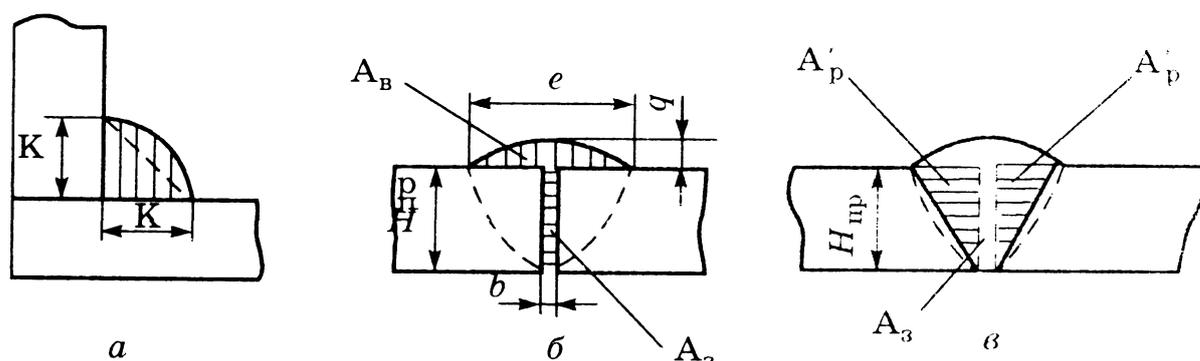


Рисунок 4 – Определения площади поперечного сечения для различных типов швов

Для угловых швов (рис. 4, а) она определяется как площадь прямоугольного треугольника, умноженная на коэффициент а, учитывающий форму шва:

$$A_H = \frac{K^2}{2} \cdot a$$

Для выпуклых швов $a=1,2$; для вогнутых $a=0,9$.

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 $A_з$ и площади валика шва $A_В$ (рис. 4, б):

$$A_з = b \cdot H_{пр}$$

где b – зазор между деталями, мм, $H_{пр}$ – глубина проплавления, мм;

$$A_В = \frac{3}{4} \cdot e \cdot q$$

где e – ширина валика шва, мм; q – высота валика шва, мм.

При наличии разделки кромок площадь наплавленного металла равна (рис. 4, в):

$$A_H = A_3 + A_B + A_P$$

При V-образной разделке A_P состоит из площади двух прямоугольных треугольников.

Скорость подачи сварочной проволоки можно найти по формуле:

$$v_{mn} = \frac{4 \cdot \alpha_n \cdot I_{св}}{\pi \cdot d^2 \cdot \gamma} \cdot 100 (м/ч)$$

С увеличением силы сварочного тока глубина проплавления возрастает почти линейно. Это объясняется ростом давления дуги на поверхность сварочной ванны, вследствие чего лучше оттесняется расплавленный металл из-под дуги и улучшаются условия теплопередачи от дуги к основному металлу. Одновременно увеличивается высота валика шва, т.к. повышается количество расплавленного электродного металла. Ширина шва возрастает незначительно, т.к. дуга заглубляется в основной металл и находится ниже плоскости основного металла.

При увеличении напряжения на дуге увеличивается ее длина, а следовательно, и подвижность. При этом ширина шва растет, глубина проплавления остается практически постоянной, а высота валика несколько снижается.

Увеличение скорости сварки (при $V_{св} > 20$ м/час) изменяет толщину прослойки расплавленного металла под дугой. В результате этого основные размеры шва уменьшаются.

С увеличением вылета электрода возрастает интенсивность его подогрева и скорость плавления. Увеличивается количество расплавленного металла под дугой, и глубина проплавления уменьшается. Ширина и высота шва несколько увеличиваются.

Род и полярность тока оказывают значительное влияние на размеры шва, что объясняется различным количеством теплоты, выделяющимся на катоде и аноде дуги. При сварке на постоянном токе прямой полярности глубина проплавления на 40–50%, а на переменном токе на 15–20% меньше, чем при сварке на постоянном токе обратной полярности. Это объясняется тем, что на катоде выделяется больше тепла. Но это же приводит к тому, что производительность выше на прямой полярности, т.к. электродная проволока плавится быстрее.

Техника сварки.

Сварка под флюсом выполняется только в нижнем положении. При этом необходимо предусмотреть способы удержания сварочной ванны от ее

вытекания в зазор между деталями.

Могут использоваться способы, применяемые при ручной сварке (рис. 5): на медной подкладке на остающейся стальной подкладке, с подварочным швом. Одним из наиболее распространенных способов является сварка на флюсовой подушке. В этом случае обеспечивается хорошее формирование обратной стороны шва за счет плотного поджатия к изделию 1 флюса 2, засыпанного на гибкую ленту 4, которая поднимается при подаче воздуха в резиновый шланг 3.

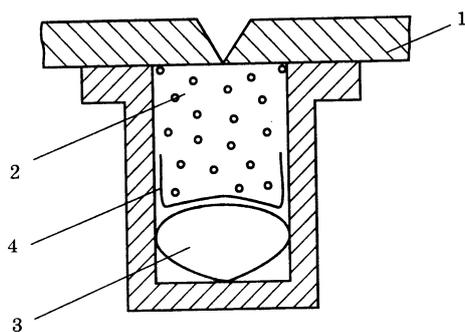


Рисунок 5 – Схема процесса сварки на флюсовой подушке:

1 — свариваемое изделие; 2 — слой флюса; 3 — резиновый шланг; 4 — гибкая лента

Начало и окончание шва при сварке под флюсом производится обычно на выводных металлических пластинах длиной 100–200 мм, которые на прихватках крепятся к свариваемому изделию и после сварки удаляются.

Угловые швы, как и при ручной сварке, могут выполняться наклонным электродом или "в лодочку".

Сварка под флюсом выполняется обычно автоматами. Полуавтоматическая сварка применяется редко.

Достоинства и недостатки сварки под флюсом.

По сравнению с ручной, сварка под флюсом имеет следующие достоинства:

- 1) более высокая производительность сварки за счет:
 - увеличенной силы тока и скорости сварки;
 - большей глубины проплавления и уменьшения количества слоев при сварке толстого металла;
 - отсутствия смены электродов;
 - более рационального использования энергии и увеличенного коэффициента наплавки;
 - отсутствия брызг и необходимости их зачистки.
- 2) более высокое качество сварки за счет:
 - надежной защиты от атмосферы;
 - снижение влияния субъективных факторов, связанных с работой сварщика;
 - хорошего формирования шва, постоянства его формы и размеров.

3) лучшие условия труда за счет:

– отсутствия необходимости в защите от светового и ультрафиолетового излучения и брызг расплавленного металла;

– меньшего количества вредных газов, выделяющихся при сварке.

Основным недостатком сварки под флюсом является то, что она выполняется только в нижнем положении из-за сложности удержания флюса на изделии, а также отсутствие возможности визуального наблюдения за формированием шва.

Основная область применения сварки под флюсом – протяженные прямолинейные непрерывные швы на металле толщиной более 5 мм или кольцевые швы на трубах и сосудах диаметром более 500 мм.

3. Индивидуальное задание.

Исходные данные:

способом автоматической дуговой сварки под флюсом на постоянном токе обратной полярности свариваются две пластины (см. рис. 4). Тип сварного соединения, марка флюса, толщина пластин δ , диаметр сварочной проволоки d , материал пластин, катет шва k (для угловых соединений), ширина валика e , высота валика g для соответствующего варианта см. в табл. 2.

Таблица 2 – Исходные данные

№ вар.	Тип соед.	Флюс	δ , мм	d , мм	Материал пластин	γ , г/см ³	k , мм	e , мм	g , мм
1	Угловое	ОСЦ-45	2	2	30ХГСА	7,85	3	-	-
2	Стык. без разд. кром.	АН-348А	3	2	ХН60ВТ	8,8	-	6	1,6
3	Стык. с разд. кром.	ОСЦ-45	4	3	12Х18Н10Т	7,86	-	8	1,7
4	Угловое	АН-348А	5	4	Сталь 20	7,86	4	-	-

5	Стык. без разд. кром.	ОСЦ-45	6	4	Сталь 08кп	7,86	-	12	1,9
6	Стык. с разд. кром.	АН-348А	2	2	Сталь 08кп	7,86	-	4	1,5
7	Угловое	ОСЦ-45	3	2	Сталь 20	7,86	3	-	-
8	Стык. без разд. кром.	АН-348А	4	4	12Х18Н10Т	7,86	-	8	1,7
9	Стык. с разд. кром.	ОСЦ-45	5	3	30ХГСА	7,85	-	10	1,8
10	Угловое	АН-348А	6	4	30ХГСА	7,85	5	-	-

Требуется рассчитать параметры режима сварки.

4. Контрольные вопросы.

- 4.1. История возникновения автоматической сварки под флюсом.
- 4.2. Сущность дуговой сварки под флюсом.
- 4.3. Основные параметры режима дуговой сварки под флюсом.
- 4.4. Техника осуществления дуговой сварки под флюсом.
- 4.5. Порядок расчета основных параметров режима дуговой сварки под флюсом.

5. Литература.

- 5.1. Куликов, В.П. Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки: учеб. пособие / В.П. Куликов. – Мн.: Экоперспектива, 2003. – 415 с.
- 5.2. Куликов, В.П. Управление технологическими процессами сварки на основе мониторинга дефектности / В.П. Куликов. – Мн.: Экоперспектива, 2006. – 335 с.
- 5.3. ГОСТ 8713–79 "Сварка под флюсом. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры".

Практическое занятие №3

"Определение параметров режима механизированной дуговой сварки плавящейся проволокой в среде углекислого газа"

1. Цель.

Изучить принцип дуговой сварки в защитных газах, а также методику расчета параметров режима сварки.

2. Общие положения.

Сущность способа.

Сварка в защитных газах включает в себя группу способов сварки, для которых защита расплавленного металла от атмосферы осуществляется путем подачи в зону горения дуги через сварочную горелку газа, вытесняющего из этой зоны воздух. Способы сварки в защитных газах отличаются друг от друга родом применяемого газа, а также схемами процесса. Наиболее распространены две схемы – сварка плавящимся и сварка неплавящимся электродом. В качестве защитного могут использоваться активные газы – CO_2 и смесь $\text{CO}_2 + \text{O}_2$, инертные газы Ar, He, а также смеси инертных и активных газов Ar + CO_2 ; Ar + $\text{CO}_2 + \text{O}_2$; Ar + O_2 . Сварка плавящимся электродом осуществляется во всех перечисленных защитных средах, сварка неплавящимся электродом производится только в инертных газах. Это объясняется быстрым окислением и низкой стойкостью неплавящегося электрода в активных газах.

Сварка в углекислом газе.

Сварка в CO_2 является основным и наиболее распространенным способом сварки плавлением на машиностроительных предприятиях. Она экономична, обеспечивает достаточно высокое качество швов, особенно при сварке низкоуглеродистых сталей, требует более низкой квалификации сварщика, чем ручная, позволяет выполнять швы в различных пространственных положениях. Наиболее распространена сварка полуавтоматами. Схема процесса приведена на рис. 1. Защитный газ 2, выходя из сопла 1 вытесняет воздух из зоны сварки. Сварочная проволока 3 подается вниз роликами 4, которые вращаются двигателем подающего механизма. Подвод сварочного тока к проволоке осуществляется через скользящий контакт 5.

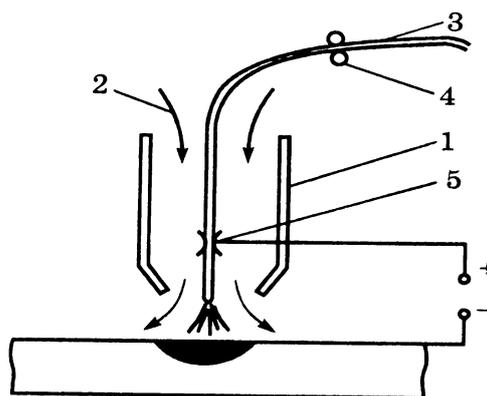
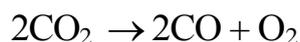


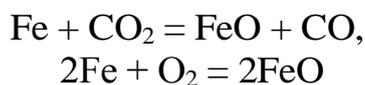
Рисунок 1 – Схема процесса сварки в защитных газах плавящимся электродом: 1 – сопло сварочной горелки; 2 – подача защитного газа; 3 – сварочная проволока; 4 – подающие ролики; 5 – скользящий токоподвод

Учитывая, что защитный газ активный и может вступать во взаимодействие с расплавленным металлом, сварка в CO_2 имеет ряд особенностей.

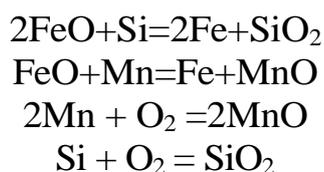
В зоне дуги углекислый газ диссоциирует:



Углекислый газ и образовавшийся кислород взаимодействуют с расплавленным металлом сварочной ванны с образованием оксида железа:



Окисление сварочной ванны ухудшает механические свойства шва и в первую очередь его пластичность. Для предотвращения этого процесса в сварочную ванну вводят элементы–раскислители, хорошо взаимодействующие с кислородом. Обычно это марганец и кремний. Раскислители выводят в шлак избыток кислорода и на участках сварочной ванны, имеющих пониженную температуру, восстанавливают железо из оксидов:



Введение раскислителей в сварочную ванну обычно осуществляется через проволоку. Поэтому при сварке в CO_2 используется

сварочная проволока, легированная марганцем и кремнием. При сварке низкоуглеродистых сталей это обычно проволока марки Св08Г2С, содержащая 0,08% С; 2% Мп и 1% Si.

Однако, несмотря на введение раскислителей, характеристики пластичности шва получаются несколько ниже, чем при сварке под флюсом или ручной сварке электродами с основным покрытием. Поэтому сварку в CO_2 не рекомендуют использовать для ответственных конструкций, работающих при низких температурах в условиях переменных и ударных нагрузок.

Имеет свои особенности и перенос электродного металла при сварке в CO_2 , что связано со специфическими свойствами углекислого газа – высокой теплопроводностью в области температур сварочной дуги и большими затратами теплоты на диссоциацию многоатомного газа CO_2 . Это приводит к интенсивному отбору тепла с поверхности дуги и ее сжатию. Вследствие сжатия равнодействующая сила, приложенная к капле, электродного металла, направлена вверх, препятствуют переносу капель в сварочную ванну. При этом создаются условия для ее роста и асимметричного расположения по отношению к оси электрода, что часто приводит к выносу капли из зоны дуги.

В связи с этим при сварке в CO_2 характерен крупнокапельный перенос и повышенное разбрызгивание. При сварке в Аг дуга шире, она охватывает боковые поверхности проволоки, хорошо ее разогревая. Поэтому на торце проволоки силы поверхностного натяжения меньше, чем при сварке в CO_2 , результирующая сила направлена вниз и капли отрываются имея меньший вес.

Кроме выноса капли из зоны дуги существуют и другие причины разбрызгивания.

Выдувание капли потоками газов и паров, поднимающихся со сварочной ванны. При этом капля первоначально отклоняется от заданной траектории, а затем отрывается и уносится в сторону от сварочной ванны. Этот процесс происходит более интенсивно для капель крупных размеров, т.к. в этом случае увеличивается их парусность, а также время зависания капли на конце проволоки.

Другой причиной разбрызгивания является падение капли в ванну жидкого металла, вследствие чего она частично выплескивается. Этот процесс также более интенсивно происходит при крупнокапельном переносе.

Образуются брызги и при разрыве перемычки жидкого металла, соединяющего каплю со сварочной проволокой.

Возможно образование брызг и при нарушениях технологического процесса сварки. Например, при наличии на проволоке ржавчины, что приводит к частым взрывам крупных капель; при неправильном соотношении между параметрами режима сварки, когда проволока выбрасывается из зоны сварки нерасплавившимися частями.

Аналогичные выбросы возможны и вначале сварке при плохих динамических характеристиках источника питания дуги.

Повышенное разбрызгивание является недостатком сварки в CO_2 , т.к. требует дополнительных затрат на зачистку свариваемого металла и сопла горелки полуавтомата. Причем брызги при сварке в CO_2 сильнее привариваются к металлу, чем при сварке покрытыми электродами, т.к. практически не покрыты шлаковой пленкой.

Улучшить процесс переноса электродного металла и уменьшить разбрызгивание позволяет введение в сварочную проволоку щелочных и щелочно-земельных металлов (цезия, рубидия и др.), а также использование импульсных и программируемых источников питания, позволяющих управлять отрывом капель.

Одним из способов снижения разбрызгивания и уменьшения приваривания брызг к основному металлу является добавка к углекислому газу кислорода. Кислород уменьшает силу поверхностного натяжения жидкого металла, которая удерживает каплю на конце проволоки. Это приводит к лучшему отрыву капель и переходу к более мелкокапельному переносу. Улучшается формирование шва. Несколько увеличивается производительность сварки вследствие выделения дополнительного тепла при окислительных реакциях. Окисленные капли хуже привариваются при падении на свариваемый металл.

Однако сварка в смеси $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ имеет и недостатки, связанные с ухудшением механических свойств вследствие интенсивного выгорания Mn и Si и повышенного окисления сварочной ванны. Несколько уменьшить отрицательное влияние кислорода на механические свойства позволяет сварка с повышенным вылетом электродной проволоки. Это уменьшает температуру капель и окисление расплавленного металла. Для сварки в смеси $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ рекомендуется использовать проволоку, дополнительно легированную цирконием — Св08Г2СЦ.

Основными параметрами режима сварки в CO_2 являются диаметр электродной проволоки – $d_{\text{ПР}}$; сила сварочного тока – $I_{\text{СВ}}$; напряжение на дуге – $U_{\text{Д}}$; скорость сварки – $v_{\text{СВ}}$; скорость подачи сварочной проволоки – $v_{\text{ПП}}$, вылет электродной проволоки – L , расход защитного газа – Q .

Диаметр электродной проволоки зависит от толщины свариваемого металла. При механизированной сварке наиболее часто используются проволоки диаметром $d_{\text{ПР}}=1,2$ и $1,6$ мм. Для тонкого металла ($\delta < 2$ мм) применяются проволоки диаметром $d_{\text{ПР}}=0,8$ и $1,0$ мм. Для автоматической сварки могут применяться проволоки $d_{\text{ПР}} - 2,0; 3,0; 4,0$ мм.

Силу сварочного тока устанавливают в зависимости от диаметра проволоки и требуемой глубины проплавления. Регулировку силы тока осуществляют путем изменения скорости подачи проволоки и напряжения на дуге. Стабильный процесс сварки с хорошими технологическими

свойствами можно получить только при оптимальном соотношении этих трех параметров.

Сила тока – основной параметр, определяющий глубину проплавления металла. В общем случае глубина проплавления при сварке в CO_2 больше, чем при ручной, что объясняется большим давлением дуги на сварочную ванну. Это приводит к более интенсивному вытеснению расплавленного металла из-под дуги и улучшению теплопередачи от дуги к нерасплавившимся кромкам.

С увеличением напряжения увеличивается общая длина дуги и ширина шва, уменьшается высота валика усиления.

Сварка в CO_2 практически всегда выполняется на постоянном токе обратной полярности. На прямой полярности процесс сварки неустойчивый и его осуществление возможно только проволоками, легированными щелочными и щелочноземельными металлами. Переменный ток для сварки в CO_2 не используется.

Кроме основных параметров режима для получения качественного шва необходимо соблюдать и дополнительные параметры, к которым относятся вылет электродной проволоки и расход защитного газа.

Сварка в инертных газах.

Наиболее распространенным инертным газом, используемым при сварке для защиты расплавленного металла, является аргон. Ar практически не вступает в химические взаимодействия с расплавленным металлом и другими газами в зоне горения дуги. Будучи на 38% тяжелее воздуха, он вытесняет его из зоны сварки и надежно изолирует сварочную ванну от контакта с атмосферой.

Для сварки используются две схемы процесса: сварка плавящимся и неплавящимся электродом. Схема процесса сварки плавящимся электродом практически не отличается от схемы процесса сварки в CO_2 .

При сварке в Ar возможен крупнокапельный или струйный перенос электродного металла. При крупнокапельном переносе процесс сварки неустойчивый, с большим разбрызгиванием. Его технологические характеристики хуже, чем при сварке в CO_2 , т.к. вследствие меньшего давления в дуге капли вырастают до больших размеров. Диапазон токов для крупнокапельного переноса достаточно велик, например, для проволоки диаметром $d=1,6\text{мм}$ $I_{\text{СВ}} = 120\text{--}240\text{А}$. При силе тока $I_{\text{СВ}}$ больше 260А происходит резкий переход к струйному переносу, стабильность процесса сварки улучшается, разбрызгивание уменьшается. Однако такие токи не всегда соответствуют технологическим требованиям. Поэтому более рационально для обеспечения стабильности процесса использовать импульсные источники питания дуги, которые обеспечивают переход к струйному переносу на токах около $I_{\text{СВ}} \approx 100\text{ А}$.

Сварка в Ar плавящимся электродом используется при сварке нержавеющей сталей и алюминия. Однако объем ее применения относительно невелик. Большее распространение при сварке в Ar получила

схема сварки неплавящимся электродом (рис. 2).

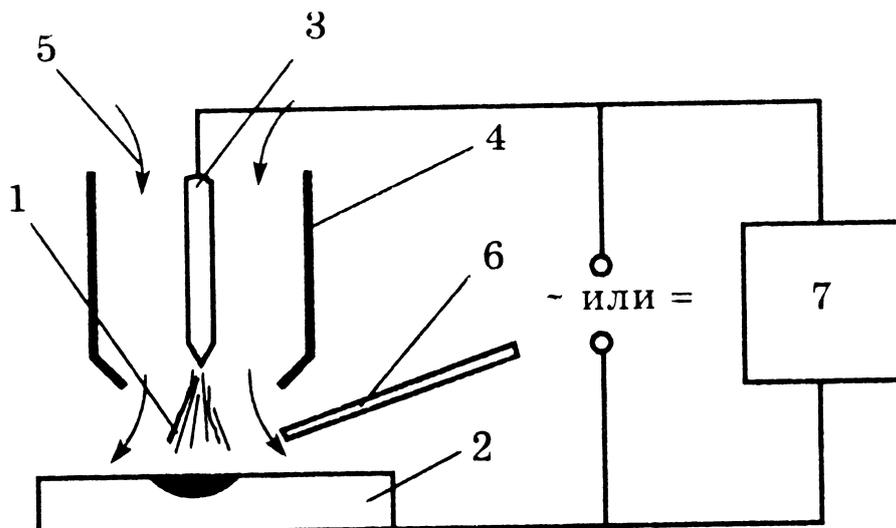


Рисунок 2 – Схема процесса сварки в защитных газах неплавящимся электродом

Дуга 1 горит между изделием 2 и электродом 3, изготовленным из материала, имеющего высокую температуру плавления (обычно из вольфрама). Электрод расположен в горелке 4, через сопло которой вдувается защитный газ 5. Присадочный материал 6 подается в зону дуги со стороны и в электрическую цепь не включен.

Сварка может быть ручной, когда горелка и присадочный пруток находятся в руках сварщика, и автоматической, когда горелка и присадочная проволока перемещаются без непосредственного участия сварщика.

При этом способе сварки зажигание дуги, в отличие от сварки плавящимся электродом, не может быть выполнено путем касания электродом изделия по двум причинам. Во-первых, аргон обладает достаточно высоким потенциалом ионизации, поэтому ионизировать дуговой промежуток за счет искры между изделием и электродом достаточно сложно (при сварке плавящимся электродом в Ar после того, как проволока коснется изделия, в зоне дуги появляются пары железа, которые имеют потенциал ионизации в 2,5 раза ниже, чем Ar, что позволяет зажечь дугу). Во-вторых, касание изделия вольфрамовым электродом приводит к его загрязнению и интенсивному оплавлению. Поэтому при сварке неплавящимся электродом для зажигания дуги параллельно источнику питания подключается устройство, которое называется осциллятор 7.

Осциллятор для зажигания дуги подает на электрод высокочастотные высоковольтные импульсы, которые ионизируют дуговой промежуток и обеспечивают зажигание дуги после включения сварочного тока. Если сварка производится на переменном токе, осциллятор после зажигания дуги переходит в режим стабилизатора и

подает импульсы на дугу в момент смены полярности, чтобы предотвратить деионизацию дугового промежутка и обеспечить устойчивое горение дуги.

При сварке на постоянном токе на аноде и катоде выделяется неодинаковое количество тепла. При токах до 300 А 70% тепла выделяется на аноде и 30% на катоде, поэтому практически всегда используется прямая полярность, чтобы максимально проплавливать изделие и минимально разогревать электрод. Все стали, титан и другие материалы, за исключением алюминия, свариваются на прямой полярности. Алюминий обычно сваривается на переменном токе для улучшения разрушения оксидной пленки.

Для улучшения борьбы с пористостью к Ar иногда добавляют кислород в количестве 3–5%. При этом защита металла становится более активной. Чистый аргон не защищает металл от загрязнений, влаги и других включений, попавших в зону сварки из свариваемых кромок или присадочного металла. Кислород же, вступая в химические реакции с вредными примесями, обеспечивает их выгорание или превращение в соединения, всплывающие на поверхность сварочной ванны. Это предотвращает пористость.

Основная область применения сварки неплавящимся электродом – соединения из легированных сталей и цветных металлов. При малых толщинах сварка может выполняться без присадки. Способ сварки обеспечивает хорошее качество и формирование сварных швов, позволяет точно поддерживать глубину проплавления металла, что очень важно при сварке тонкого металла при одностороннем доступе к поверхности изделия. Он получил широкое распространение при сварке неповоротных стыков труб, для чего разработаны различные конструкции сварочных автоматов. В этом виде сварку иногда называют орбитальной. Сварка неплавящимся электродом является одним из основных способов при соединении титановых и алюминиевых сплавов.

Ее недостатками являются невысокая производительность при использовании ручного варианта. Применение же автоматической сварки не всегда возможно для коротких и разноориентированных швов.

Параметры режима сварки.

Основными параметрами режима сварки являются сила сварочного тока I_{CB} , напряжение на дуге U_d , диаметр сварочной проволоки d_{PP} , скорость сварки V_{CB} , скорость подачи проволоки $V_{ПП}$.

Расчет начинают с определения требуемой глубины проплавления H_{PP} .

Для стыковых односторонних швов глубина проплавления равна толщине свариваемого металла $H_{PP} = \delta$.

Для стыковых двухсторонних швов $H_{PP} = 0,6 \cdot \delta$.

Для стыковых швов, выполняемых на остающейся подкладке $H_{PP} = \delta + 1 \text{ мм}$.

Для угловых швов $H_{PP} = 0,6 \cdot \delta$.

Затем по глубине проплавления выбирается соответствующий диаметр сварочной проволоки (табл. 1).

Таблица 1 – Выбор диаметра электрода и сварочной проволоки

Способ сварки	Глубина проплавления $H_{\text{пр}}$, мм			
	2	3—5	5—10	10—20
Диаметр электрода (проволоки) $d_э$, 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 флюсом	—	2,0; 3,0	3,0; 4,0	4,0; 5,0

Затем выбирается коэффициент пропорциональности (например, $K_{\text{п}} = 1,75$ для постоянного тока обратной полярности), зависящий от условий сварки (табл. 2).

Таблица 2 – Выбор коэффициента пропорциональности $K_{\text{п}}$

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

Сила сварочного тока определяется по формуле:

$$I_{\text{св}} = \frac{H_{\text{пр}}}{K_{\text{п}}} \cdot 100$$

Затем уточняется диаметр сварочной проволоки по формуле:

$$d_{\text{пр}} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{I_{\text{св}}}{\gamma}} \text{ (мм)}$$

(150 A/мм^2 – допустимая плотность тока для сварки в CO_2).

Напряжение на дуге определяется по формуле:

$$U_{д} = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{d_{ПР}}} \cdot I_{CB} \pm 1 \text{ (В)}$$

Катет углового сварного шва можно определить, зная эксплуатационную нагрузку на шов, по формуле:

$$k = \frac{N}{[\tau] \cdot L_{ШВА} \cdot \beta} \text{ (мм)}$$

где N – эксплуатационная нагрузка, H ;
 $[\tau]$ – допускаемые касательные напряжения, $H/мм^2$ или $МПа$ (50% от σ_T);

$L_{ШВА}$ – длина сварного шва, мм;

β – коэффициент способа сварки (0,8 для механизированной сварки).

Далее рассчитывается скорость сварки по формуле:

$$V_{CB} = \frac{\alpha_H \cdot I_{CB}}{\gamma \cdot F_H \cdot 100} \text{ (м/ч)},$$

где α_H – коэффициент наплавки, $г/(А \cdot ч)$ (для механизированной дуговой сварки в среде CO_2 $\alpha_H = 12$ $г/(А \cdot ч)$);

γ – плотность свариваемого металла, $г/см^3$;

F_H – площадь сечения сварного шва (наплавленного металла), $см^2$.

Для углового шва площадь поперечного сечения наплавленного металла определяется по формуле:

$$F_H = \frac{k^2}{2} \cdot a \cdot \sin \alpha,$$

где k – катет сварного шва, мм;

a – коэффициент, зависящий от формы валика сварного шва (для выпуклых сварных швов принимаем равным 1,2);

α – угол между поверхностями свариваемых деталей, °.

Для стыкового шва при расчете площади его сечения необходимо учитывать зазор между деталями, наличие/отсутствие разделки кромок, а также ширину и высоту валика шва. Например, площадь сечения металла шва, заполняющего V-образную разделку одной кромки, равна:

$$F_H^{РАЗД} = \frac{(\frac{e}{2} - b) \cdot H_{ПР}}{2} \text{ (см}^2\text{)}$$

где e – ширина валика шва, см;

b – зазор между деталями, см.

Скорость подачи проволоки находится по формуле:

$$V_{\text{п.пр.}} = \frac{\alpha_{\text{H}} \cdot I_{\text{СВ}}}{\gamma \cdot \frac{\pi \cdot d_{\text{ПР}}^2}{4} \cdot 100} \left(\frac{\text{М}}{\text{Ч}} \right)$$

3. Индивидуальное задание.

Исходные данные:

способом механизированной дуговой сварки в среде углекислого газа на постоянном токе обратной полярности свариваются две пластины тавровым соединением угловым швом. Толщину пластин δ , длину шва $L_{\text{ШВА}}$, материал пластин, эксплуатационную нагрузку на шов N смотри в табл. 3.

Таблица 3 – Исходные данные

№ вар.	Материал пластин	σ_{T} , МПа	δ , мм	γ , г/см ³	N , кН	$L_{\text{ШВА}}$, мм
1	Ст3пс	245	4		50	300
2	сталь 08кп	175	5		60	400
3	15Г	245	6		70	500
4	09Г2С	345	6		75	250
5	16ГНМА	325	5	7,85	80	350
6	10ХСНД	390	4		85	450
7	15ХФ	540	4		90	550
8	14ХГС	345	5		95	200
9	10Г2	265	6		45	170
10	35Г2	365	7		40	230

Требуется рассчитать параметры режима сварки.

4. Контрольные вопросы.

- 4.1. Сущность дуговой сварки в защитных газах.
- 4.2. Основные параметры режима дуговой сварки в защитных газах.
- 4.3. Отличия сварки в активных и инертных газах.

4.4. Порядок расчета основных параметров режима механизированной дуговой сварки в защитных газах плавящейся проволокой.

5. Литература.

5.1. Куликов, В.П. Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки: учеб. пособие / В.П. Куликов. – Мн.: Экоперспектива, 2003. – 415 с.

5.2. Куликов, В.П. Управление технологическими процессами сварки на основе мониторинга дефектности / В.П. Куликов. – Мн.: Экоперспектива, 2006. – 335 с.

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

Практическое занятие №4 "Расчет параметров режима контактной рельефной сварки"

1. Цель.

Научиться рассчитывать основные параметры режима контактной рельефной сварки на примере пакетного нахлесточного соединения пластин заданной толщины из определенной стали.

2. Общие положения.

Контактная рельефная сварка – способ сварки давлением, при котором образование неразъемного соединения происходит на отдельных участках деталей по заранее подготовленным выступам (рельефам) при воздействии усилия сжатия электродов и нагрева импульсами сварочного тока.

При рельефной сварке свариваемые детали сжимают усилием $F_{св}$ при помощи электродов, к которым подключена вторичная обмотка сварочного трансформатора $ТС$ (рис. 1).

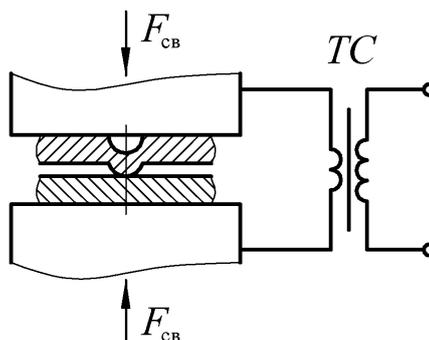


Рисунок 1 – Упрощенная схема контактной рельефной сварки

На поверхности одной из деталей предварительно формируют рельеф, который ограничивает начальную площадь контакта деталей и обеспечивает высокую концентрацию линий протекания сварочного тока непосредственно по контакту рельеф–деталь. При нагреве металл рельефа деформируется. При рельефной сварке двух деталей на определенной стадии протекания тока формируется ядро, как и при точечной сварке. Однако при одновременной сварке трех и более деталей (пакетные или многослойные соединения) вместо двух и более отдельных точек формируется общая литая зона (столбик) для всех соединяемых деталей пакета (рис. 2).

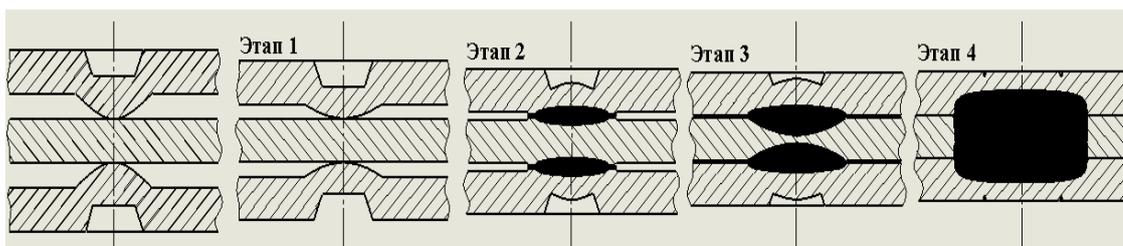


Рисунок 2 – Кинетика образования пакетного рельефного соединения:

этап 1 – предварительное сжатие деталей со смятием рельефов (стабилизация электросопротивления контактов); этап 2 – включение сварочного тока (эффективное разрушение и удаление оксидных пленок из зоны сварки, ускорение активации контактных поверхностей, появление и рост зон расплавления); этап 3 – интенсивная пластическая деформация металла зоны сварки при нагреве (полная осадка рельефов, касание деталей по всей плоскости); 4 – выключение сварочного тока (сформировано расплавленное ядро, снижение и релаксация в околошовной зоне остаточных напряжений)

Обычно сварка осуществляется одновременно по нескольким рельефам. Это объясняется тем, при сварке по одному рельефу наблюдаются постоянные перекосы деталей, вызывающие повышенное шунтирование сварочного тока.

Рельефную сварку обычно применяют для соединения стальных деталей, реже – для соединения деталей из цветных металлов и сплавов. Ее классифицируют по форме и способу изготовления рельефов, а также форме сварного соединения (рис. 3).

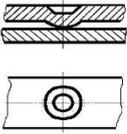
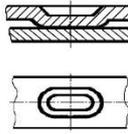
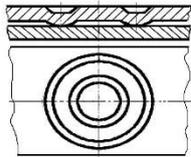
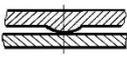
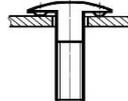
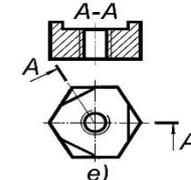
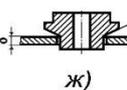
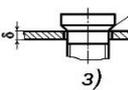
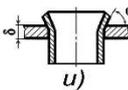
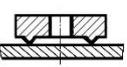
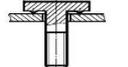
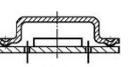
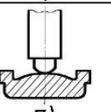
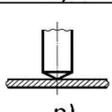
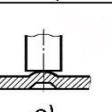
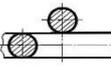
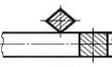
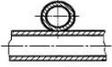
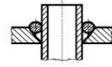
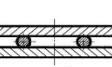
Соединения внахлестку	Штампованные рельефы на листовой стали			
	Высаженные			
Соединения Т-образные	Рельефы "острой гранью"			
	Рельефы кольцевые			
	Сферические или конусные			
Крестообразные соединения				
Соединения со вставками				

Рисунок 3 – Разновидности контактной рельефной сварки и типы применяемых рельефов

Согласно *ГОСТ 15878–79*, основными параметрами нахлесточных соединений, выполняемых рельефной сваркой с использованием круглых рельефов, являются диаметр литой зоны d , величины проплавления h и h_1 , величина нахлестки B и расстояние от центра рельефа до края нахлестки u (рис. 4).

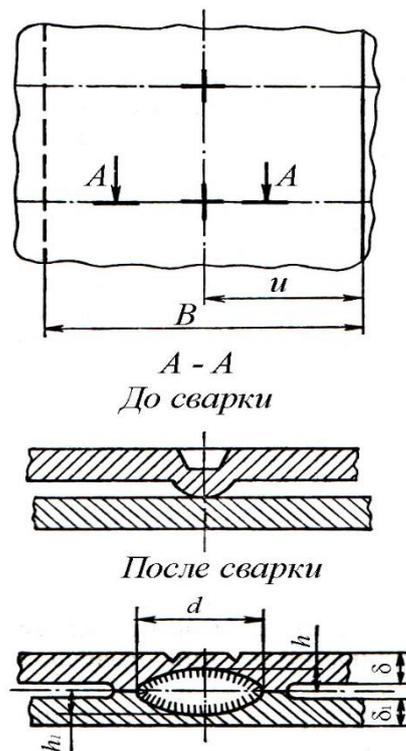


Рисунок 4 – Конструктивные элементы сварных соединений, полученных при рельефной сварке листов внахлестку

При сварке одновременно нескольких точек на листовых конструкциях из сталей и титановых сплавов применяют, например, круглые рельефы, форма которых приведена на рис. 5.

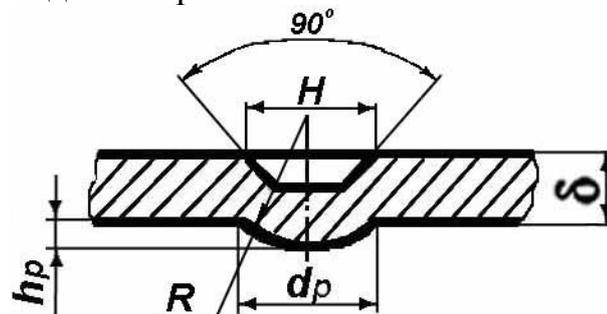


Рисунок 5 – Параметры круглого рельефа:

h_p – высота рельефа; d_p – диаметр рельефа; δ – толщина детали; R – радиус сферы

Основные размеры рельефов и диаметр литой зоны можно определить, используя ориентировочные соотношения:

$$d_p = (0,6 \dots 0,8) \times d; h_p = (0,2 \dots 0,3) \times d_p; d = (1,1 \dots 1,4) \times d_p \quad (1)$$

Характерной особенностью процесса образования соединений при рельефной сварке является то, что он осуществляется при интенсивной радиально направленной пластической деформации металла в зоне свариваемого контакта. Эта деформация в 10...15 раз больше, чем при

точечной сварке. Идет интенсивное разрушение поверхностных пленок, образование активных центров, схватывание с образованием связей в твердом состоянии.

Прочное соединение при рельефной сварке может возникать и без образования зоны взаимного расплавления (например, при соединении сталей и титановых сплавов). Однако наличие литой точки стабилизирует прочность соединений и облегчает последующий контроль.

При рельефной сварке чаще всего используют циклограмму с постоянным усилием сжатия (рис. 6, а). С целью снижения уровня остаточных напряжений применяется также циклограмма с повышенным ковочным усилием (рис. 6, б). Импульс сварочного тока рекомендуется выполнять с плавным его нарастанием, которое необходимо для предупреждения возникновения начальных выплесков металла из зоны деталь–деталь. При выполнении рельефной сварки одновременно по нескольким рельефам рекомендуется использовать двухимпульсный режим (рис. 6, в). Первый импульс (импульс подогрева $I_{под} = (0,6...0,7) \times I_{св}$) способствует выравниванию высоты рельефов, второй (сварочный) импульс тока формирует соединение заданных размеров.

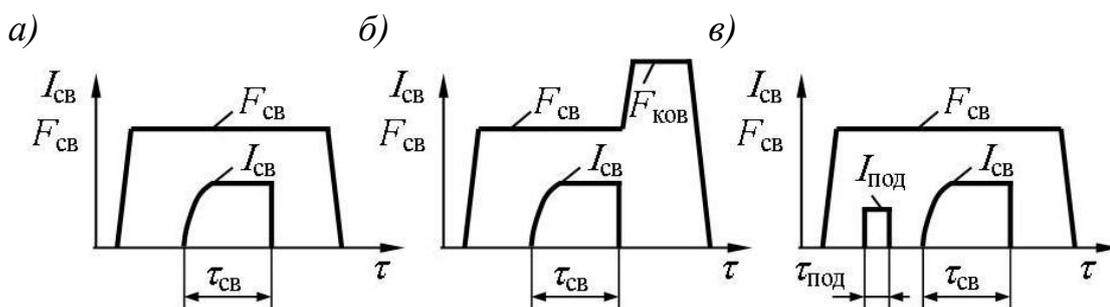


Рисунок 6 – Циклограммы процесса рельефной сварки:

$F_{св}$ – усилие на электродах; $F_{ков}$ – ковочное усилие; $I_{св}$ – сварочный ток; $I_{под}$ – ток подогрева; $\tau_{св}$ – время протекания сварочного тока; $\tau_{под}$ – время протекания тока подогрева

Режим не должен быть слишком мягким, т. к. при таком режиме возможны преждевременная деформация рельефа, уменьшение зазора между деталями до нуля, растекание тока по большой площади и снижение его плотности.

При сварке среднеуглеродистых и низколегированных сталей в зоне сварного соединения из-за быстрого остывания могут образоваться закалочные структуры. В этом случае применяется циклограмма с пропуском импульса тока термообработки $I_{ТО}$, который пропускается через зону сварки после прохождения импульса сварочного тока. При этом $I_{ТО} = (0,6...0,8) \times I_{св}$.

Основными параметрами режима рельефной сварки являются:

- форма и размеры рельефов;
- величина сварочного тока $I_{св}$;

- время протекания сварочного тока $\tau_{св}$;
- сварочное усилие $F_{св}$;
- ковочное усилие $F_{ков}$;
- время приложения ковочного усилия $\tau_{ков}$;
- время запаздывания ковочного усилия $\tau_{зап}$;
- форма и размеры электродов.

С увеличением $I_{св}$ и $\tau_{св}$ количество выделившейся при сварке теплоты возрастает, в связи с чем размеры и прочность соединений увеличиваются. При чрезмерном увеличении $I_{св}$ и $\tau_{св}$ возможны перегрев, образование точки большого размера, конечные внутренние и наружные выплески.

С увеличением $F_{св}$ площади контактов электрод–деталь и деталь–деталь возрастают, что снижает интенсивность тепловыделения и увеличивает отвод теплоты из зоны сварки. Поэтому при постоянстве остальных параметров режима увеличение $F_{св}$ приводит к уменьшению $d_я$ и прочности соединений, а снижение $F_{св}$ – к увеличению $d_я$. Рост $d_я$ и прочности соединений при увеличении $I_{св}$ и $\tau_{св}$ и снижении $F_{св}$ ограничивают из-за появления выплесков расплавленного металла.

Параметры режима сварки можно определить расчетом, расчетно-экспериментальным и экспериментальным методами. Существуют многочисленные рекомендации по выбору параметров в виде таблиц, номограмм, графиков, специальных планшетов. Однако приводимые параметры являются ориентировочными и требуют проверки, а часто и корректировки для учета конкретных условий (качество поверхностей, сборки, состояние контактной машины и др.). Корректировку осуществляют на образцах–свидетелях. При положительных результатах испытаний и получении соединений без дефектов параметры режима сварки фиксируют в картах технологического процесса сборки и сварки.

Нарушение параметров технологического процесса приводит к образованию следующих групп дефектов:

- 1) изменение размеров ядра или полное его отсутствие;
- 2) начальные и конечные выплески расплавленного металла из зоны контактов деталь–деталь и деталь–электрод;
- 3) нарушение сплошности металла ядра или околоточечной зоны (трещины, раковины, рыхлоты);
- 4) переход металла электродов на поверхность сварных соединений;
- 5) изменение структуры и свойств металла точки и околоточечной зоны;
- 6) создание неблагоприятного поля остаточных напряжений в металле точки и околоточечной зоне.

Машина для контактной рельефной сварки должна обеспечивать выполнение, в определенной последовательности и в строго заданные по длительности отрезки времени, следующих операций цикла сварки:

1) сжатие деталей между электродами перед пропуском сварочного тока – "*СЖАТИЕ*";

2) прохождение регулируемого по величине и форме импульса сварочного тока через сжатые электродами детали – "*СВАРКА*";

3) выдержка деталей в сжатом состоянии (с усилием согласно заданному циклу) при выключенном токе – "*ПРОКОВКА*";

4) раскрытие электродов и выдержка времени между двумя последующими циклами для снятия и перемещения детали (узла) – "*ПАУЗА*".

Стационарные машины контактной точечной сварки типа *МТ-3201* предназначены для электрической контактной точечной сварки различных деталей из низкоуглеродистых сталей, и они успешно эксплуатируются на автомобильных заводах и характеризуются большой производительностью, надежностью и долговечностью (рис. 7).



Рисунок 7 – Машина контактной точечной сварки типа МТ-3201

Цифра 32 маркировки означает, что машина рассчитана на максимальный сварочный ток 32 кА (наибольший вторичный ток).

Машину *МТ-3201* можно успешно применять и для рельефной сварки малогабаритных деталей путем замены электродов с малым диаметром контактной поверхности, предназначенных для точечной сварки, на электроды с увеличенным диаметром контакта, которые имитируют электродные плиты рельефного пресса (рис. 8).



Рисунок 8 – Электрод с увеличенной контактной поверхностью

Основная несущая конструкция машины – корпус. На верхнем кронштейне корпуса установлен пневматический привод сжатия, который перемещает верхний электрододержатель.

Привод сжатия электродов состоит из пневматического цилиндра и поршня, соединенного со штоком. Специальная направляющая обеспечивает движение штока поршня и крепление привода к корпусу машины. Поворот штока вокруг своей оси предотвращается специальной шпонкой. Все сочленения привода сжатия уплотнены при помощи круглых резиновых манжет.

График определения усилий сжатия электродов для машины *MT-3201* представлен в рис. 9.

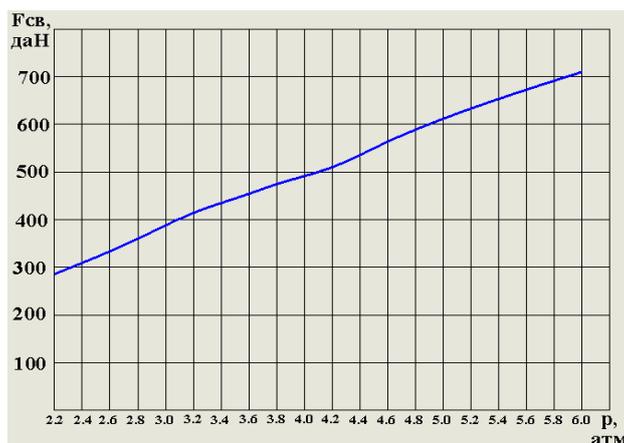


Рисунок 9 – График усилий сжатия электродов машины *MT-3201*

На приводе сжатия и верхней части кронштейна закреплены электропневматические клапаны, фильтр–маслораспылитель и регулятор давления. Нижний электрододержатель закреплен в хоботе, установленном на нижнем кронштейне. Хобот через нижний токоподвод и шину соединяется с нижней колодкой сварочного трансформатора.

Внутри корпуса машины размещены: сварочный трансформатор, пульт управления, автоматический выключатель, регулятор циклов сварки, тиристорный контактор.

Токоподвод состоит из электрододержателей с электродами, хоботов, шин и токоведущих деталей.

Система охлаждения состоит из гибких водонапорных шлангов и запорного вентиля. Гидрореле расположены внутри корпуса. Система охлаждения обеспечивает протекание охлаждающей воды во вторичном витке сварочного трансформатора, токопроводах, электродах и тиристорном контакторе.

Педальная кнопка машины имеет гибкую связь с машиной и устанавливается в удобном для работы месте.

После ввода свариваемых деталей в зазор между электродами производят нажатие педальной кнопки. Напряжение сети автоматическим выключателем подается на однофазный сварочный трансформатор и на

тиристорный контактор. При нажатии на педальную кнопку включается регулятор цикла сварки и электропневмоклапаны. Регулятор цикла сварки осуществляет определенную последовательность и продолжительность операций цикла. Тиристорный контактор предназначен для включения и выключения тока первичной обмотки сварочного трансформатора. Включение тиристорного контактора происходит при подаче отпирающих импульсов на специальные управляющие электроды тиристоров и специальными трансформаторами.

Регулирование эффективной величины сварочного тока в машине производится изменением момента отпираания тиристоров в каждый полупериод изменения сетевого напряжения.

Для получения единичной сварной точки следует после некоторого времени ("СЖАТИЕ") освободить педаль кнопки. Если педаль кнопки останется нажатой и переключатель на блоке управления сваркой будет установлен в положение "ПОВТОРЕНИЕ", то циклы сварки будут повторяться.

Регулятор цикла сварки типа *PKC-801* осуществляет:

1) управление последовательностью действий однофазных машин точечной контактной сварки, имеющих тиристорный контактор и два клапана постоянного тока;

2) регулирование длительности позиций сварочного цикла с цифровым отсчетом;

3) управление тиристорным контактором и регулирование величины сварочного тока;

4) автоматическую настройку на коэффициент мощности $\cos\varphi$ с изменением полярности включения первой полуволны сварочного тока;

5) стабилизацию действующего значения сварочного тока при колебаниях напряжения питающей сети.

Регулятор *PKC-801* выполнен в виде отдельного прибора, соединяемого со сварочной машиной при помощи разъема *РШАГКУ-20*. На аналоговые входы (их 2) регулятора возможно внешнее воздействие при уровне управляющего сигнала $0-10 В$ и токе потребления $15 мА$.

3. Индивидуальное задание.

Исходные данные: три плоских детали заданной толщины из определенной стали необходимо сварить "пакетом" способом контактной рельефной сварки на стационарной машине контактной точечной сварки (посредством установки на машину электродов с увеличенной площадью контактной поверхности). Рельефы располагаются на наружных деталях.

Требуется:

1. подобрать требуемую длительность протекания сварочного тока $\tau_{CB,с}$ по литературным рекомендациям (табл. 1);

2. рассчитать полное количество электрической энергии $Q_{ЭЭ}$, Дж, необходимой для формирования сварного соединения;

3. рассчитать величину требуемого сварочного тока $I_{СВ}$, А.

Последовательность расчета:

1. Геометрия пакетного соединения и схема расчета теплового баланса представлены на рис. 10.

2. Уравнение теплового баланса зоны сварки имеет вид:

$$Q_{ЭЭ} = Q_{СТ} + Q_M + Q_Э, \quad (2)$$

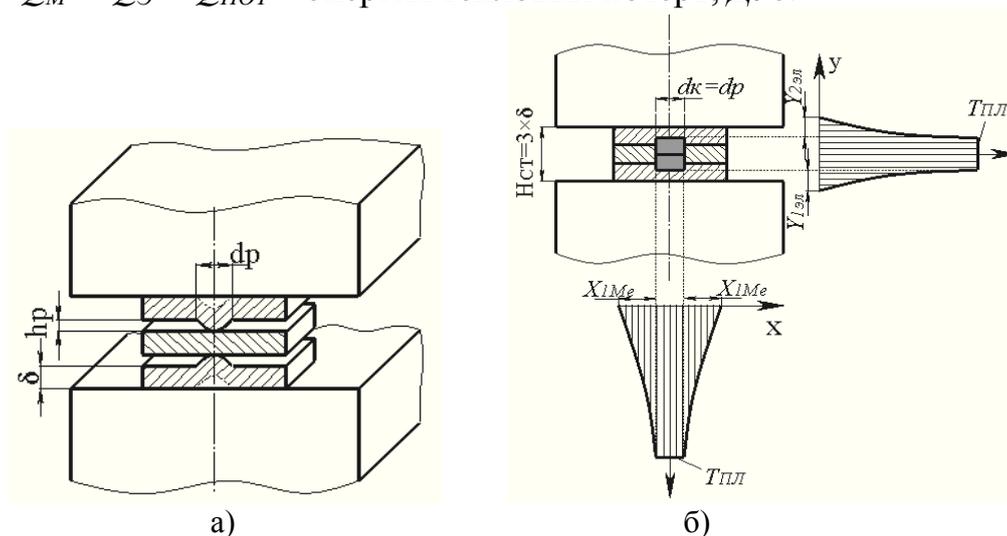
где $Q_{ЭЭ}$ – электрическая энергия, вкладываемая в межэлектродную зону, Дж;

$Q_{СТ}$ – электрическая энергия, затрачиваемая на нагрев и плавление центрального столбика металла, Дж;

Q_M – электрическая энергия, затрачиваемая на нагрев околошовной зоны, Дж;

$Q_Э$ – энергия, затрачиваемая на нагрев электродов, Дж;

$Q_M + Q_Э = Q_{ПOT}$ – энергия тепловых потерь, Дж.



а – геометрия пакетного соединения трех деталей перед сваркой;
б – схема расчета теплового баланса пакетного соединения трех деталей

Рисунок 10 – Расчетная схема сварного соединения

Формулы составляющих электрической энергии:

$$Q_{СТ} = 0,25\pi d_p^2 n \delta c_M \gamma_M T_{ПЛ} \quad (3)$$

$$Q_M = n \delta K_1 \pi \sqrt{a_M \tau_{СВ}} (d_p + 4\sqrt{a_M \tau_{СВ}}) c_M \gamma_M T_{ПЛ} \quad (4)$$

$$Q_{\text{э}} = 0,25K_2\pi d_{\text{э-д}}^2 \sqrt{a_{\text{э}}\tau_{\text{св}}c_{\text{э}}\gamma_{\text{э}}T_{\text{пл}}} \text{ (Дж)} \quad (5)$$

где n – количество свариваемых деталей, шт.;
 δ – толщина свариваемого металла, см;
 d_p – диаметр выштампованного круглого рельефа, см;
 c_M – теплоемкость материала свариваемой детали, Дж/(г·°C);
 γ_M – плотность материала свариваемой детали, г/см³;
 $T_{\text{пл}}$ – температура плавления материала свариваемой детали, °C;
 K_1 – коэффициент, учитывающий, что средняя температура условного кольца нагрева меньше $T_{\text{пл}}/4$, безразм.;
 a_M – коэффициент температуропроводности материала свариваемой детали, см²/с;
 K_2 – коэффициент формы электрода, безразм.;
 $a_{\text{э}}$ – коэффициент температуропроводности материала электродов, см²/с;
 $d_{\text{э-д}}$ – диаметр контакта электрода с деталью, см;
 $c_{\text{э}}$ – теплоемкость материала электродов, Дж/(г·°C);
 $\gamma_{\text{э}}$ – плотность материала электродов, г/см³.

Распределение температурного поля в свариваемых деталях имеет следующие особенности:

а) подавляющую часть тепловыделения в центральной детали составляет тепловыделение, распространяющееся от мест ее контактирования с рельефами на наружных деталях;

б) температура столбика металла центральной детали достигает более 1400 К благодаря концентрации линий сварочного тока по площади контактирования ее с рельефами наружных деталей и интенсивной деформации с перемешиванием металла рельефов и центральной детали.

В связи с этим при расчете баланса энергии зоны сварки предполагается, что необходимо и достаточно рассчитывать электрическую энергию, вводимую в два столбика металла, общих для центральной и крайних деталей. Поэтому расчет составляющих уравнения теплового баланса мы производим для двух столбиков металла, объединяя их в один. При этом в металле, окружающем центральный столбик, температура постепенно снижается от $T_{\text{пл}}$ до комнатной. Средняя температура нагреваемого кольца шириной X_{1Me} , см приближается к $T_{\text{пл}}/4$. Ширина кольца растет с увеличением продолжительности нагрева и повышением температуропроводности свариваемого металла:

$$X_{1Me} = 4 \cdot \sqrt{a_M \cdot \tau_{\text{св}}} \quad (6)$$

Объем условного кольца нагрева металла вокруг столбика расплавленного металла равен $n\delta\pi X_{1Me}(d_p + X_{1Me})$.

Область распространения тепла в электроды $Y_{ЭЛ}$, см равна: (7)

$$Y_{ЭЛ1} = Y_{ЭЛ2} = 4 \cdot \sqrt{a_{Э} \cdot \tau_{СВ}}$$

Требуемый сварочный ток $I_{СВ}$, А находится по формуле:

$$I_{СВ} = \sqrt{\frac{Q_{ЭЭ}}{r_{ЭЭ} \cdot \tau_{СВ}}}, \quad (8)$$

где $r_{ЭЭ}$ – сопротивление межэлектродной зоны, мкОм (для различной суммарной толщины пакета будет разным).

Допущение: электроды всей своей площадью контактируют с наружными деталями пакета!

В табл. 1 представлены исходные данные для вариантов.

Таблица 1 – Исходные данные

Вариант	δ , мм	d_p , мм	Материал деталей	Материал электродов	Диаметр электрода $d_э$, мм	K_1	K_2	$\tau_{СВ}$, с	$r_{ЭЭ}$, мкОм
1	1	3,5	сталь 08кп	Л62 (латунь)	40	0,8	1	0,25	100
2	1,5	4						0,36	110
3	2	5						0,48	120
4	2,5	7						0,9	130
5	3	8						1,5	140
6	1	3,5	30ХГСА	М1 (медь)	45			0,25	100
7	1,5	4						0,36	110
8	2	5						0,48	120
9	2,5	7						0,9	130
10	3	8						1,5	140
11	1	3,5	сталь 08кп	БрБ2 (бронза)	50			0,25	100
12	1,5	4						0,36	110
13	2	5						0,48	120
14	2,5	7						0,9	130
15	3	8						1,5	140
16	1	3,5	30ХГСА	БрОФ-6,5-0,5 (бронза)	60			0,25	100
17	1,5	4						0,36	110
18	2	5						0,48	120
19	2,5	7						0,9	130
20	3	8						1,5	140

В табл. 2 представлены теплофизические характеристики материалов.

Таблица 5 – Некоторые теплофизические характеристики материалов

<i>Материал</i>	$\gamma, \text{г/см}^3$	$c, \text{Дж/(г}\cdot\text{°C)}$	$a, \text{см}^2/\text{с}$	$T_{пл}, \text{°C}$
сталь 08кп	7,86	0,71	0,1	1530
30ХГСА	7,85	0,48	0,104	1480
Л62	8,5	0,418	0,26	905
БрОФ-6,5-0,5	8,65	0,5	0,15	995
БрБ2	8,23	0,419	0,243	955
М1	8,94	0,43	0,96	1083

4. Контрольные вопросы.

- 4.1. Сущность контактной рельефной сварки.
- 4.2. Основные параметры режима контактной рельефной сварки.
- 4.3. Основные геометрические параметры рельефного сварного соединения.
- 4.4. Порядок расчета основных параметров режима контактной рельефной сварки.

5. Литература.

- 5.1. Березиенко, В. П. Технология сварки давлением / В. П. Березиенко, С. Ф. Мельников, С. М. Фурманов. – Могилев: Белорус. – Рос. ун–т, 2009. – 256 с.
- 5.2. Смирнов, В. В. Оборудование для контактной сварки: справ. пособие / В. В. Смирнов. – СПб.: Энергоатомиздат, Санкт–Петербургское отд–ние, 2000. – 736 с.
- 5.3. Орлов, Б. Д. Технология и оборудование контактной сварки: учебник для вузов / Б. Д. Орлов [и др.] – М.: Машиностроение, 1986. – 352 с.
- 5.4. Березиенко В. П. Совершенствование технологии контактной точечной и рельефной сварки / В.П. Березиенко, В. А. Попковский, С. Ф. Мельников . – Мн.: Высш. школа, 1990. – 145 с.
- 5.5. Эксплуатационная документация исследуемых машин и применяемых приборов.

Практическое занятие №5

”Дефекты сварных соединений, обнаружение дефектов контактной рельефной сварки и анализ причин их возникновения”

1. Цель.

Изучить дефекты сварных соединений. Изучить методику изготовления макрошлифов сварных соединений, полученных с помощью контактной рельефной сварки, а также методику анализа дефектов, обнаруживаемых на макрошлифах.

2. Общие положения.

Дефекты сварных соединений, выполненных дуговой сваркой могут классифицироваться по различным признакам: форме, величине, расположению в сварном шве, степени опасности, причинам образования и т.д.

Наиболее принятой является классификация дефектов, рекомендованная междугосударственным стандартом ГОСТ 30242-97 «Дефекты соединений при сварке металлов плавлением».

В соответствии с этим стандартом все дефекты делятся на шесть групп. Каждый тип дефекта имеет свое цифровое и буквенное обозначение, рекомендованное международным институтом сварки:

- 1) Трещины - цифровое обозначение 100; буквенное E;
- 2) полости, поры - цифровое обозначение 200; буквенное A;
- 3) твердые включения - цифровое обозначение 300; буквенное B, G, J, M - в зависимости от типа включения;
- 4) несплавления и непровары - цифровое обозначение 400; буквенное D;
- 5) нарушения формы шва - цифровое обозначение 500; буквенное F;
- 6) прочие дефекты - цифровое обозначение 600; буквенное обозначение отсутствует.

В пределах каждой группы существует своя классификация в зависимости от ориентации дефекта, его характера, формы и некоторых других признаков.

По ГОСТ 30242-97 трещиной называется несплошность, вызванная местным разрывом шва или околошовной зоны, которые могут возникнуть в результате охлаждения или действия нагрузок.

В зависимости от ориентации трещины бывают продольными (обозначаются 101), поперечными (102), радиальными - выходящими из одной точки (103). Эти типы дефектов приведены на рис. 1, а. Они могут располагаться в металле сварного шва, в зоне термического влияния, в основном металле. Различают также трещины, расположенные в кратере

(104), групповые раздельные (105) и групповые разветвленные (106) (рис. 1, б).

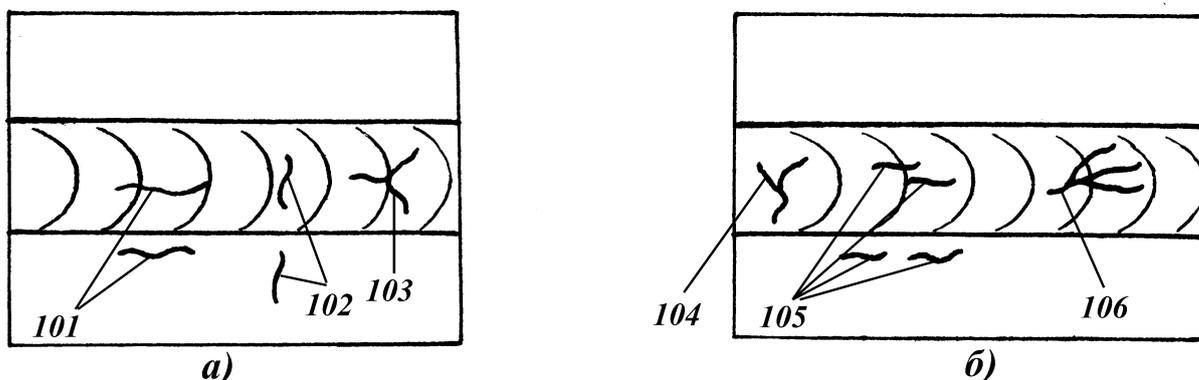


Рисунок 1 – Различные типы трещин в сварном соединении

Газовой полостью называется полость произвольной формы, не имеющая углов, образованная газами, задержанными в расплавленном металле. Газовая полость сферической формы называется порой. Поры могут быть равномерно распределены по шву, (2012) располагаться цепочкой (2014) или скоплением (2013) (рис. 2).

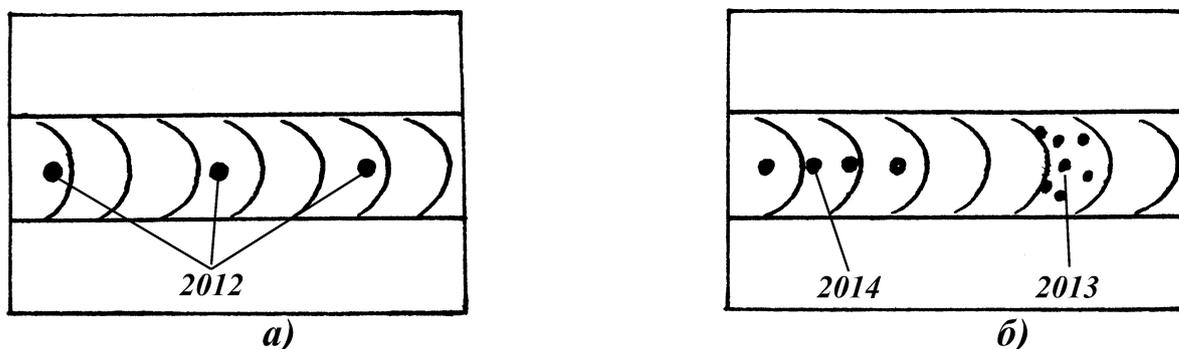


Рисунок 2 – Поры в сварных швах

Продолговатые трубчатые полости обычно называют свищами (2015) (рис. 3).

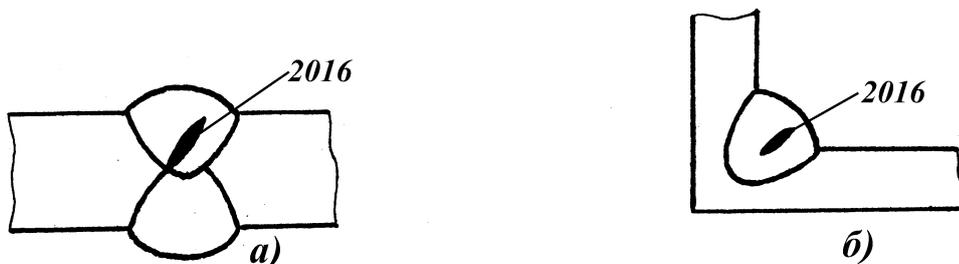


Рисунок 3 – Свищи в стыковых и угловых швах

К полостям также относят усадочные раковины и кратеры. Кратер это незаваренная усадочная раковина в конце валика сварного шва (рис. 4).

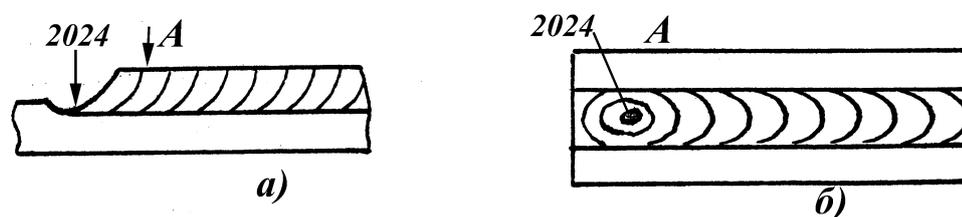


Рисунок 4 – Не заваренный кратер шва

Твердое включение это твердые инородные вещества металлического или неметаллического происхождения оставшиеся в металле сварного шва. Они бывают шлаковыми (301), флюсовыми (302), оксидными (303), металлическими (304). Металлические включения бывают вольфрамовыми, медными и прочими.

Несплавления (401) характеризуется отсутствием соединения между металлом сварного шва и основным металлом или между отдельными валиками сварного шва. Несплавление бывает по боковой поверхности (4011), между валиками (4012), в корне сварного шва (4013) (рис. 5).

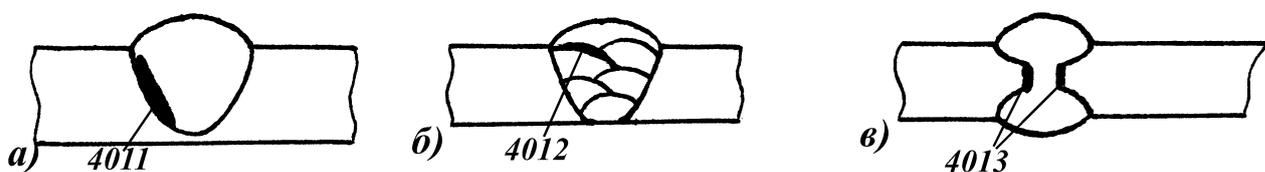


Рисунок 5 – Различные типы несплавления в сварном шве

Непровар (402) это несплавление основного металла по длине шва, возникшее вследствие неспособности расплавленного металла заполнить зазор между деталями (рис. 6).



Рисунок 6 – Различные виды непровара

Нарушением формы шва считается отклонения формы наружных поверхностей сварного шва или геометрии соединения от установленных значений. К нарушениям формы шва (рис. 7) относятся: подрезы (501), усадочные канавки (5013), превышение проплава (504), линейное (507) и

угловое (508) смещение свариваемых элементов, прожоги (510), превышение выпуклости сварного шва (502, 503), неправильный профиль (505) и асимметрия шва (512), вогнутость корня шва (515), натеки (509) и наплавы (506).

Подрезом называется продольное углубление на наружной поверхности у валика шва (рис. 7, а). Подрез со стороны корня шва называется усадочной канавкой (рис. 7, б). Превышение проплава - это избыток наплавленного металла на обратной стороне стыкового шва (рис. 7, в). Вогнутостью корня шва называется неглубокая канавка одностороннего сварного шва, образовавшаяся вследствие усадки (рис. 7, ж).

Смещение между свариваемыми элементами при их параллельном расположении на различном уровне называется линейным смещением (рис. 7, г), при расположении кромок под углом - угловым смещением (рис. 7, д).

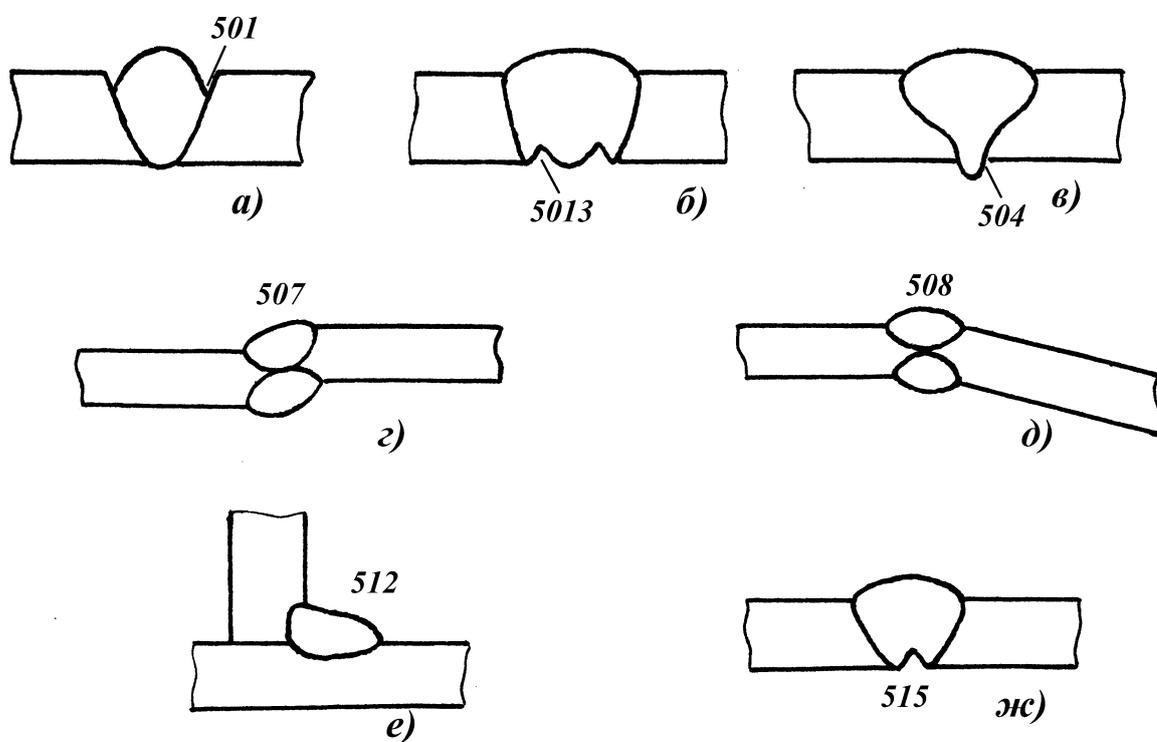


Рисунок 7 – Нарушения формы шва:

а - подрез; б - усадочные канавки; в - превышение проплава; г - линейное смещение; д - угловое смещение; е - асимметрия шва; ж - вогнутость корня шва

Натеки от наплавов отличаются тем, что наплыв образован излишним расплавленным металлом (рис. 8, а), натек - перераспределением наплавленного металла под действием силы тяжести (рис. 8, б). Натек чаще всего образуется при сварке угловых швов или стыковых в горизонтальном положении.

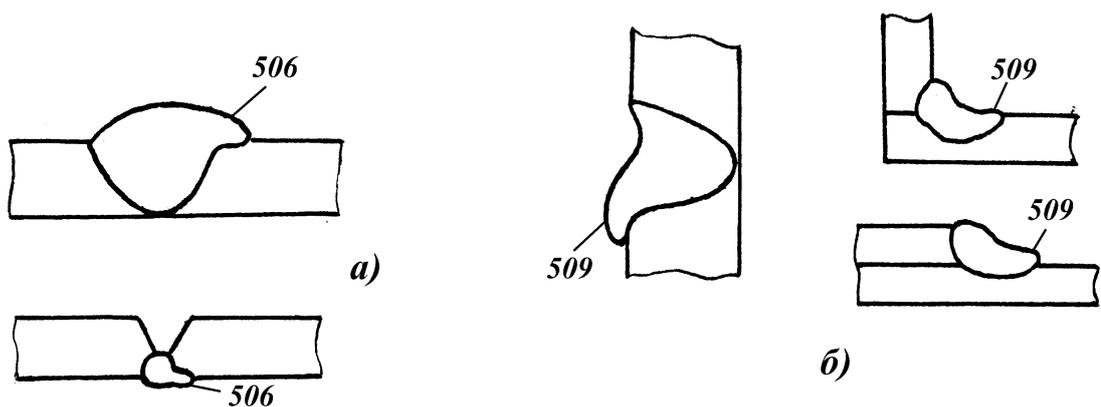


Рисунок 8 – Наплавы (а) и натеки (б) в сварных соединениях

К прочим дефектам относятся все дефекты не включенные в группы 1-5. Их примером являются брызги металла (602), местное повреждение металла вследствие случайного зажигания дуги (601), поверхностные задиры (603), вызванные случайным привариванием приспособления, утонение металла (606) и др.

Приведенную классификацию удобно использовать при расшифровке результатов неразрушающего контроля, статистическом учете дефектов, оценке их опасности и в некоторых других случаях. Она носит несколько формальный характер и не отражает в должной мере процессы происходящие в металле, развитие которых приводят к образованию дефектов. Поэтому при анализе металлургических и технологических причин дефектности пользуются другой классификацией, отражающей механизм образования дефектов. Например, трещины делятся на горячие и холодные. В свою очередь горячие трещины делятся на кристаллизационные, подсолидусные, дисперсионного твердения. Холодные - на мартенситные, ламелярные, интерметаллидные и т.д.

При контактной сварке основными дефектами являются: непровары, выплески расплавленного металла из зоны сварки, прожоги, переход металла электрода на изделие, рыхлоты и несплошности в литой зоне, поры (не влияют на прочностные показатели соединений в сравнении с дуговыми способами сварки).

Причинами возникновения дефектов при контактной сварке являются:

1. неудовлетворительная подготовка поверхностей деталей перед сваркой;
2. нарушение точности во взаимном расположении деталей перед сваркой;
3. отклонения параметров режима сварки от рекомендуемых значений ввиду ошибок операторов контактных машин, а также из-за колебаний напряжения питающей сети, введения массивных ферромагнетиков в зону вторичного контура контактной машины, нарушения условий охлаждения межэлектродной зоны, самопроизвольного отклонения параметров режима

регуляторами цикла сварки аналогового типа (обычно это прописано в техпаспорте), изменяющейся инерционности привода сжатия электродов при большом количестве циклов сварки и др.

Дефекты можно увидеть на макрошлифах сварных соединений. Рассмотрим пример изготовления макрошлифов рельефных контактных сварных соединений на токарном станке с использованием гибких наждачных кругов различной степени абразивности.

Токарный станок представлен на рис. 9.



Рисунок 9 – Внешний вид токарного станка

Патрон токарного станка и захватный механизм представлены на рис. 10.



Рисунок 10 – Патрон токарного станка и захватный механизм

Зачистной круг от вольфа $125 \times 6 \times 22,3$ в оправке посадочным диаметром 24 мм под патрон станка (с зажимной шайбой) представлены на рис. 11.



Рисунок 11 – Зачистной круг в оправке

Оправка зажимается в патрон с помощью четырехгранного ключа (рис. 12).



Рисунок 12 – Ключ для зажатия оправки в патроне

Установка оправки с кругом в патрон токарного станка показана на рис. 13.



Рисунок 13 – Установка оправки с кругом в патрон станка

Зажатие ключом оправки в патроне станка представлено на рис. 14.

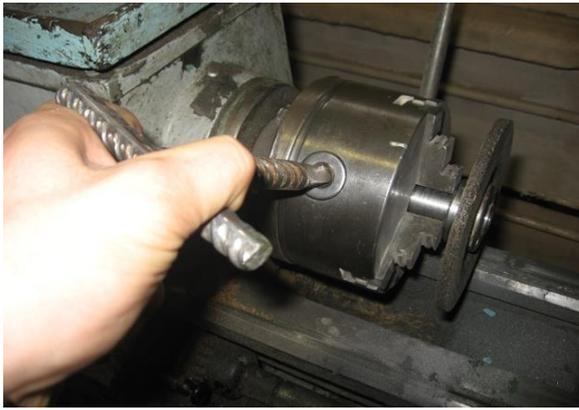


Рисунок 14 – Зажатие оправки ключом в патроне станка

Фиксация образца на планке в зажимном механизме станка представлена на рис. 15.



Рисунок 15 – Фиксация образца на планке в зажимном механизме станка

Зажатие образца винтом в зажимном механизме станка (гаечный ключ на 14) представлено на рис. 16.



Рисунок 16 – Зажатие образца винтом

Подвод подвижной части станка к зачистному кругу в патроне вращением бабки против часовой стрелки (с последующей регулировкой с помощью ручки) показан на рис. 17.



Рисунок 17 – Подвод подвижной части станка к зачистному кругу

При вращении круга так осуществляется плавная регулировка осевого расстояния от образца до круга (рис. 18).



Рисунок 18 – Плавная регулировка осевого расстояния от образца до круга

При вращении круга так осуществляется плавная регулировка радиального перемещения образца вдоль круга (рис. 19).



Рисунок 19 – Плавная регулировка радиального расстояния от образца до круга

Процесс грубой шлифовки образца с целью выведения начальной плоскости шлифования (патрон вращается против часовой стрелки) показан на рис. 20.

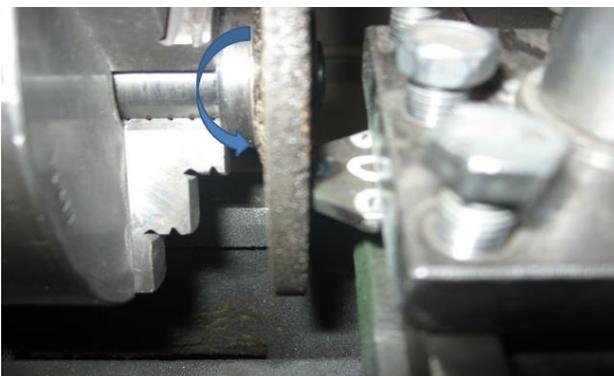


Рисунок 20 – Процесс выведения плоскости шлифа

Затем осуществляется установка оправки с “лепучкой” под мягкие шлифовальные круги (рис. 21).



Рисунок 21 – Установка оправки с “лепучкой” под мягкие шлифовальные круги

Мягкий шлифовальный круг крупного зерна (P40) представлен на рис. 22.



Рисунок 22 – Мягкий шлифовальный круг крупного зерна

Процесс мягкой шлифовки образца кругом с зерном Р40 (патрон вращается против часовой стрелки) представлен на рис. 23.



Рисунок 23 – Процесс мягкой шлифовки образца кругом с зерном Р40

Далее проводится проходка мягкими кругами со следующей последовательностью (рис. 24).

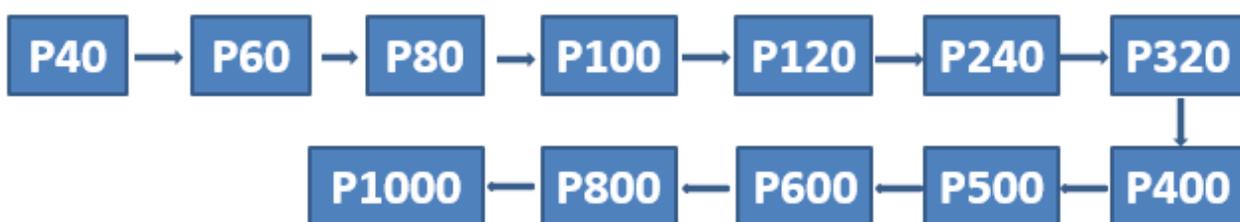


Рисунок 24 – Проходка мягкими кругами

Войлочный круг для финишной шлифовки образца представлен на рис. 25.



Рисунок 25 – Войлочный круг для финишной шлифовки образца

Кусок шлифовальной пасты Гойи представлен на рис. 26.



Рисунок 26 – Кусок шлифовальной пасты Гойи

При вращении войлочного круга его необходимо натереть пастой Гойи (рис. 27).



Рисунок 27– Натирка круга пастой Гойи

Процесс финишной шлифовки образца войлочным кругом с пастой Гойи) представлен на рис. 28.

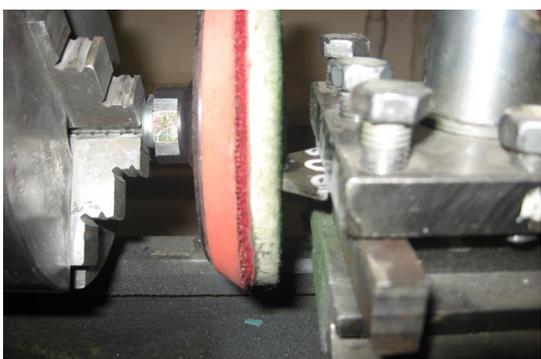


Рисунок 28 – Процесс финишной шлифовки образца войлочным кругом с пастой Гойи

После данной операции можно приступать к травлению отшлифованного образца 30%-ым водным раствором хлористого железа (натирка ватной палочкой) с последующей протиркой спиртом и просмотром макрошлифа на микроскопе НЕОРНОТ 21 (рис. 29).



Рисунок 29 – Микроскоп НЕОРНОТ 21

Внешний вид протравленных макрошлифов, которые можно анализировать на наличие/ отсутствие дефектов, представлен на рис. 30.

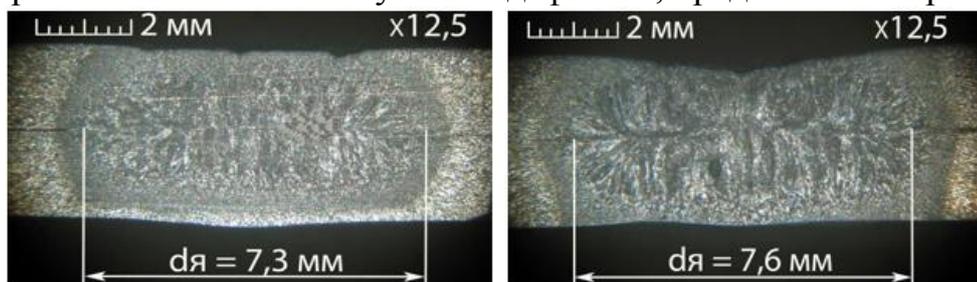


Рисунок 30 – Макрошлифы рельефных сварных соединений двух пластин из н/у стали толщиной 2+2 мм при сварке по одному круглому выштампованному рельефу

3. Индивидуальное задание.

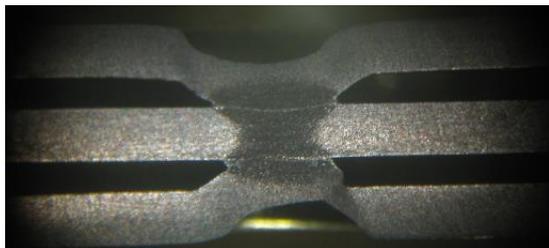
Исходные данные: имеется макрошлиф сварного соединения, полученного способом контактной рельефной сварки.

Требуется:

1. определить наличие или отсутствие дефектов сварки;
2. в случае наличия дефекта определить в масштабе один из его габаритных размеров;
3. объяснить возможные причины возникновения дефектов.

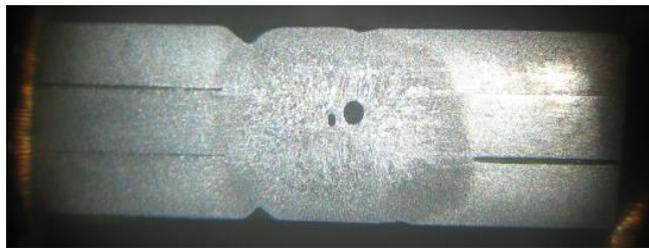
Исходные данные представлены на рис. 31.

Вариант №1



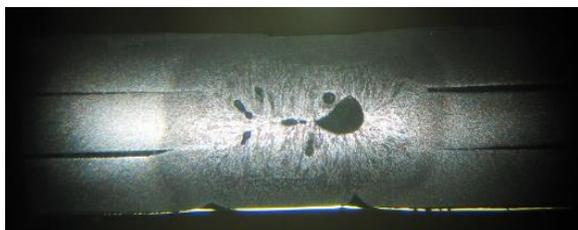
Толщина металла 2 мм

Вариант №2



Толщина металла 2 мм

Вариант №3



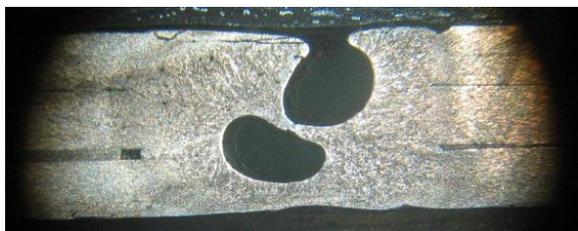
Толщина металла 2 мм

Вариант №4



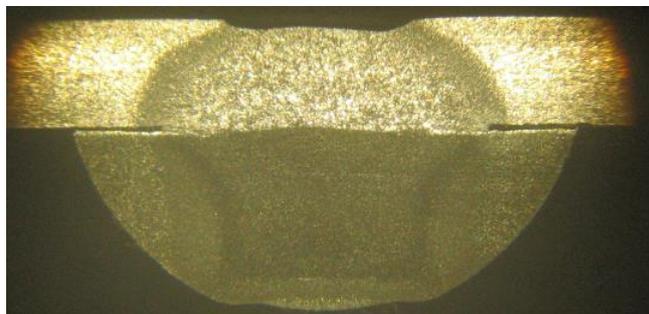
Толщина металла 2 мм

Вариант №5



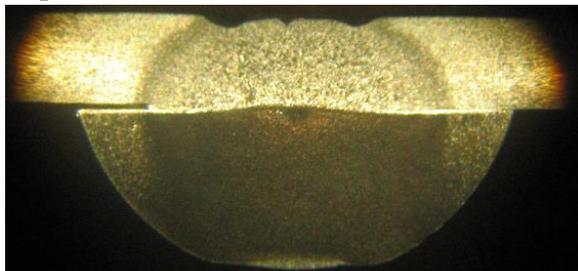
Толщина металла 2 мм

Вариант №6



Толщина металла 2,5 мм + 4,7 мм

Вариант №7



Толщина металла 2,5 мм + 4,7 мм

Вариант №8



Толщина металла 2 мм

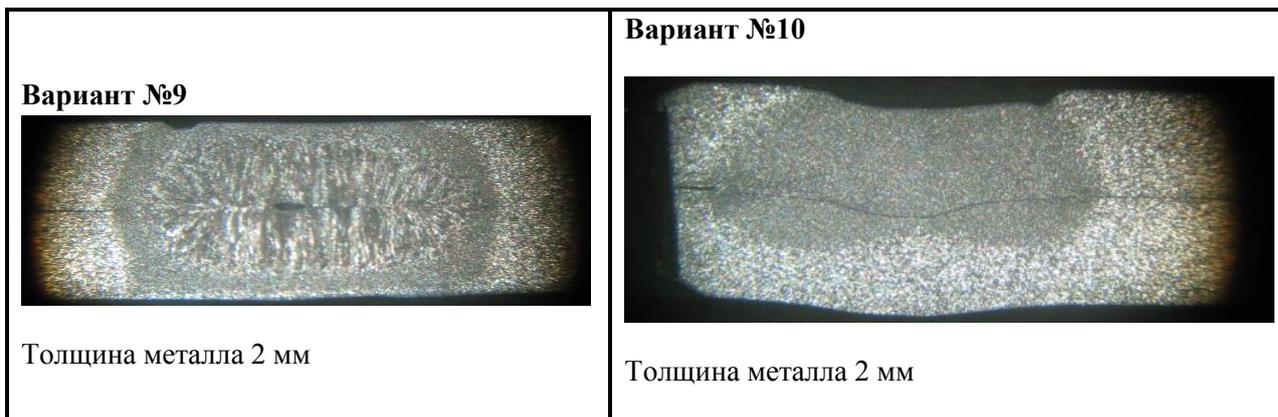


Рисунок 31 – Исходные данные

4. Контрольные вопросы

- 4.1. Дефекты сварки. Классификация.
- 4.2. Причины возникновения дефектов при сварке.
- 4.3. Методики изготовления макрошлифов сварных соединений.
- 4.4. Методика анализа макрошлифов сварных соединений на наличие дефектных зон.

5. Литература.

- 5.1. Куликов, В.П. Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки: учеб. пособие / В.П. Куликов. – Мн.: Экоперспектива, 2003. – 415 с.
- 5.2. Куликов, В.П. Управление технологическими процессами сварки на основе мониторинга дефектности / В.П. Куликов. – Мн.: Экоперспектива, 2006. – 335 с.
- 5.3. Березиенко, В. П. Технология сварки давлением / В. П. Березиенко, С. Ф. Мельников, С. М. Фурманов. – Могилев: Белорус. – Рос. ун–т, 2009. – 256 с.
- 5.4. Орлов, Б. Д. Технология и оборудование контактной сварки: учебник для вузов / Б. Д. Орлов [и др.] – М.: Машиностроение, 1986. – 352 с.
- 5.5. Березиенко В. П. Совершенствование технологии контактной точечной и рельефной сварки / В.П. Березиенко, В. А. Попковский, С. Ф. Мельников . – Мн.: Высш. школа, 1990. – 145 с.

Практическое занятие №6
**“Расчет рычажных зажимных устройств, применяемых в сборочно–
сварочных кондукторах и стендах с целью предотвращения
деформаций при сварке”**

1. Цель.

Научиться рассчитывать рычажные зажимные устройства, применяемые в сборочно–сварочных кондукторах и стендах.

2. Общие положения.

Расчет рычажных зажимных устройств следует начинать с усилий на зажимах. Исходными данными для определения этих усилий являются размеры свариваемой балки и калибр угловых швов.

Например, тавр имеет размеры: стенка 400×10 мм, пояс 200×16 мм, шов 8×8 мм, длина балки 6000 мм. Момент инерции сечения балки $J = 13000$ см⁴. Расстояние между центрами тяжести сечения балки и сечения шва $e = 10,6$ см.

При автоматической сварке усадочная сила, действующая по оси швов, равна:

1. после сварки первого шва:

$$P_{yc1} = 1,7 \times D \times k^2 = 1,7 \times 30000 \times 0,8^2 = 32600 \text{ (кгс)} \quad (1)$$

где $D = 30000$ – коэффициент для автоматической сварки;
 k – катет шва, см.

2. после сварки обоих швов:

$$P_{yc2} = 1,15 \times 1,7 \times 30000 \times 0,8^2 = 37600 \text{ (кгс)} \quad (2)$$

Расчетные усилия, возникающие на зажимах кондуктора (рис. 1) под действием этих усадочных сил, определяются:

1. после сварки первого шва

$$q_1 = 9,6 \times \frac{P_{ус1} \times e}{L^2} = \frac{9,6 \times 32600 \times 10,6}{600^2} = 9,2 \frac{\text{кгс}}{\text{см}} = 920 \frac{\text{кгс}}{\text{м}} \quad (3)$$

2. после сварки обоих швов

$$q_2 = 9,6 \times \frac{P_{ус2} \times e}{L^2} = \frac{9,6 \times 37600 \times 10,6}{600^2} = 10,6 \frac{\text{кгс}}{\text{см}} = 1060 \frac{\text{кгс}}{\text{м}} \quad (4)$$

(L – длина балки, см)

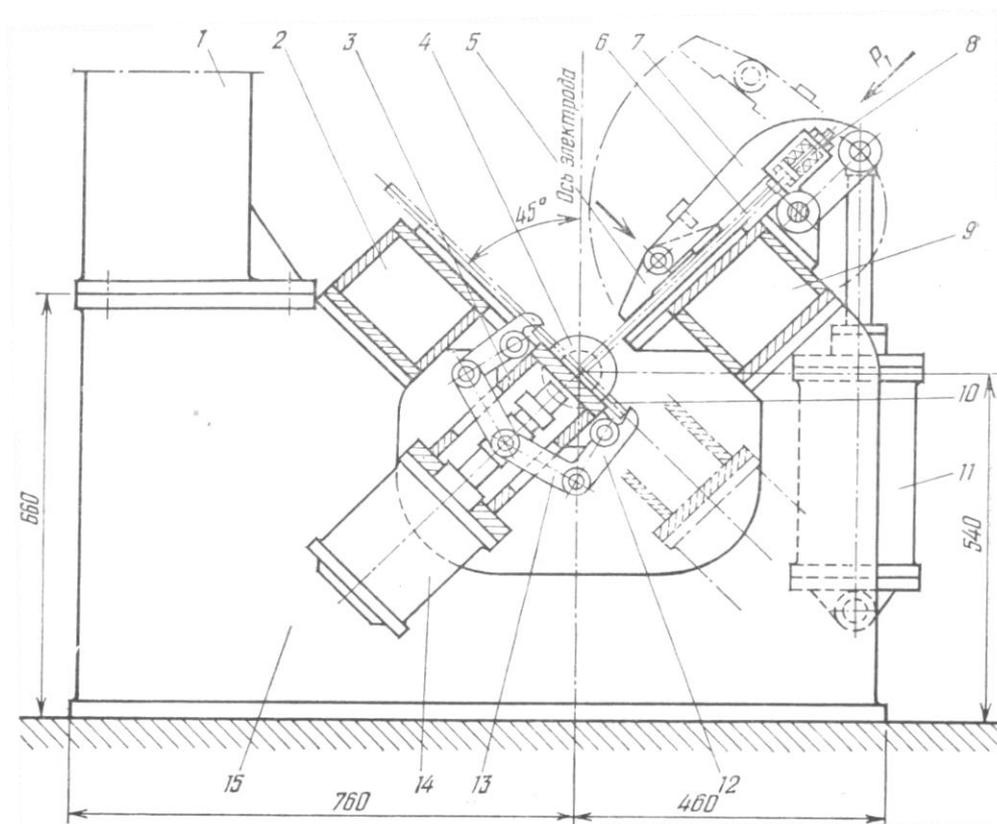


Рисунок 1 – Кондуктор – кантователь для сборки и сварки тавровых балок

Следовательно, при расположении верхних рычажных зажимов вдоль балки через 1 метр каждый из них должен воспринимать усилие $S_1 \geq 920 \text{ кгс}$.

Захваты опорной балки кантователя (нижние зажимы) также расположены на расстояниях в 1 м и удерживают свариваемую балку от

деформации после сварки обоих швов. Следовательно, каждая пара захватов должна развивать усилие сцепления с поясом тавра $S_2 \geq 1060 \text{ кгс}$.

При сварке балки в зажатом состоянии поперечная усадка углового шва может вызвать в металле шва опасные изгибные напряжения, превышающие предел его текучести. Поэтому усилие бокового прижима P_2 (рис. 2) следует ограничивать условием, чтобы создаваемые им изгибные напряжения σ в металле шва не превосходили заданной величины, т.е. $\sigma < \sigma_T$. Из этого условия следует, что изгибающий момент в шве от действия силы P_2 на плече l_3 должен быть равен моменту внутренних сил в металле шва при напряжениях $\sigma = [\sigma]$:

$$P_2 \times l_3 = W \times [\sigma], \quad (5)$$

где $W = \frac{b_{1M} \times h^2}{6}$ – момент сопротивления сечения шва на длине b_{1M} (принимается 1 метр шва) при его высоте в опасном сечении h .

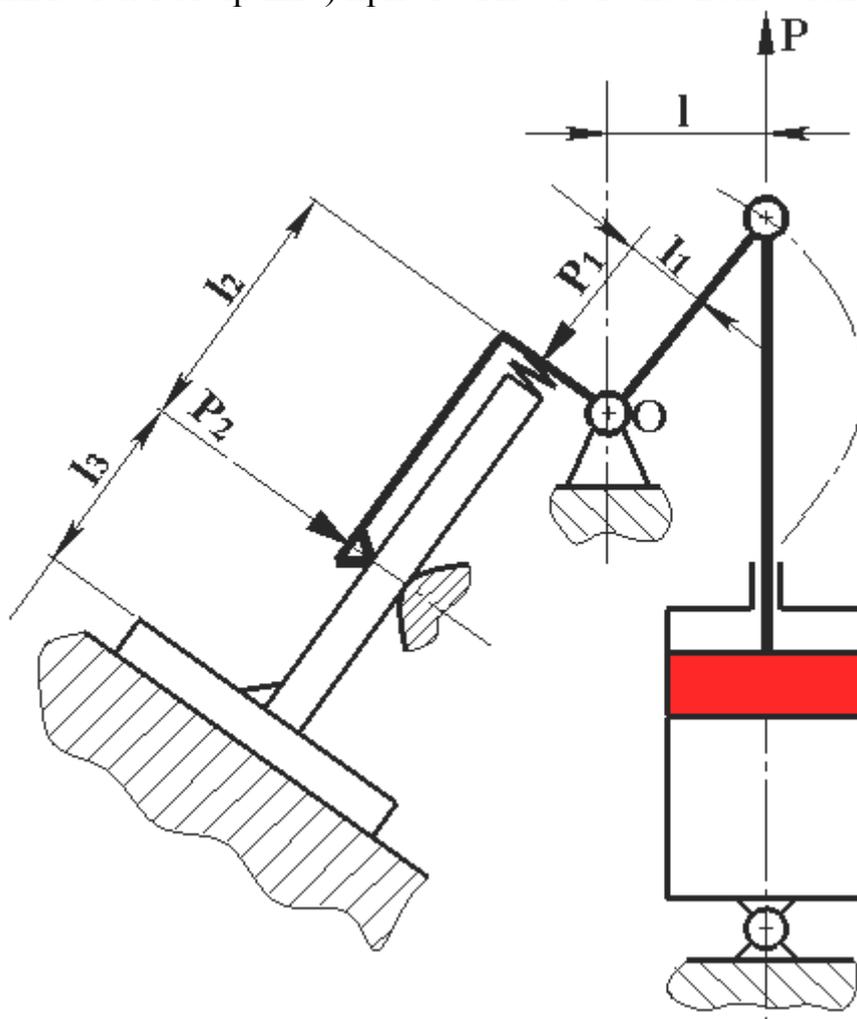


Рисунок 2 – Расчетная схема рычажного зажимного устройства для сборки тавровых балок

Подставляя эти значения в вышеуказанную формулу, получаем:

$$P_2 \times l_3 = \frac{b_{1M} \times h^2 \times [\sigma]}{6} \quad (6)$$

Откуда искомая допускаемая сила прижатия равна:

$$P_2 = \frac{b_{1M} \times h^2 \times [\sigma]}{6 \times l_3} \quad (7)$$

Для рассматриваемого кондуктора на длине шва $b_{1M} = 100$ см при $h = 0,7$ см, $l_3 = 19$ см и $[\sigma] = 2000 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$ по вышеуказанной формуле получаем:

$$P_2 = \frac{100 \times 0,7^2 \times 2000}{6 \times 19} = 860 \text{ кгс}$$

Если же известна угловая деформация балки α после сварки первого шва в свободном (не зажатом) состоянии, то следует проверить, образуется ли зазор под силой P_2 между стенкой свариваемой балки и опорной поверхностью кондуктора.

При сварке в незажатом состоянии, т.е. при отсутствии P_2 , в районе прижимов образуется свободный зазор $\Delta_0 = l_3 \times \tan \alpha$. Однако под действием силы P_2 возникает прогиб обратного знака: $f = \frac{P_2 \times l_3^3}{3 \times E \times J}$.

Если $\Delta_0 > f$, то между стенкой и кондуктором останется зазор:

$$\Delta = \Delta_0 - f = l_3 \times \tan \alpha - \frac{P_2 \times l_3^3}{3 \times E \times J} \quad (8)$$

где $J = \frac{b_{1M} \times t_{CT}^3}{12}$ – момент инерции сечения стенки балки на длине b_{1M} (длина одного шва, равная 100 см) при толщине стенки балки t_{CT} . Подставив эти значения в вышеуказанную формулу, получим:

$$\Delta = l_3 \times \tan \alpha - \frac{4 \times P_2 \times l_3^3}{E \times b_{1M} \times t_{CT}^3} \quad (9)$$

В нашем примере при угловой деформации $\tan \alpha = 0,01$ имеем:

$$\Delta = 19 \times 0,01 - \frac{4 \times 860 \times 19^3}{2,1 \times 10^6 \times 100 \times 1^3} = 0,08 \text{ мм}$$

С этим зазором придется примириться, чтобы избежать опасных напряжений в металле шва и возможных продольных трещин в нем.

В точном расчете прогиба стенки под действием силы P_2 следовало бы учитывать также влияние поперечной силы трения в верхнем прижиме,

создаваемой усилием P_1 . Однако для наших целей это не имеет особого значения и почти не влияет на общий результат расчета.

Выше найдено минимальное усилие на рычаге $S_1 = 920$ кгс, необходимое для удержания балки от осевого изгиба при сварке первого шва. Это усилие складывается из давления рычага на кромку стенки P_1 и силы трения между прижимом на конце рычага и стенкой (под силой P_2), т.е.

$$S_1 = P_1 + f \times P_2, \quad (10)$$

где $f = 0,15$ – коэффициент трения сухой детали о деталь.

Из вышеуказанной формулы определяем минимально необходимую величину:

$$P_1 = K \times (S_1 - f \times P_2) \quad (11)$$

приняв коэффициент запаса $K = 1,25$ и подставив найденные выше значения $S_1 = 920$ кгс и $P_2 = 860$ кгс в вышеуказанную формулу, получим:

$$P_1 = 1,25 \times (920 - 0,15 \times 860) = 1000 \text{ кгс}$$

Как указано в описании конструкции кондуктора, усилие P_1 передается на кромку стенки через несколько пружин. Изменяя их натяжение, можно с достаточной точностью регулировать его величину.

Для определения усилия привода P необходимо составить уравнение моментов относительно оси опорного шарнира рычага Q . При этом для упрощения расчетов трением в шарнире рычага пока пренебрегаем, с тем что в дальнейшем оно будет учтено соответствующей поправкой. В таком случае уравнение моментов запишется так:

$$P \times l = P_1 \times l_1 + P_2 \times l_2, \text{ откуда}$$

$$P = \frac{P_1 \times l_1 + P_2 \times l_2}{l} \quad (12)$$

В нашем примере $P_1 = 1000$ кгс; $P_2 = 860$ кгс; $l = 9$ см; $l_1 = 6$ см; $l_2 = 21$ см. По вышеуказанной формуле находим значение усилия на штоке привода P :

$$P = \frac{1000 \times 6 + 860 \times 21}{9} = 2700 \text{ кгс}$$

Чтобы учесть потери на трение в опорном шарнире рычага, необходимо предварительно определить величину опорной реакции шарнира.

Усилие Q , воспринимаемое шарниром (шарнир в т. О), можно найти графическим или аналитическим сложением всех действующих на рычаг сил (активных и реактивных). При угле наклона рычага по отношению к оси штока привода 45° :

$$Q = \sqrt{(P_1 + 0,7 \times P)^2 + (P_2 + 0,7 \times P)^2} \quad (13)$$

Момент трения на оси шарнира:

$$M_{\text{ТР}} = Q \times f_1 \times r = 4030 \times 0,1 \times 2 = 806 \text{ (кгс} \times \text{см)} \quad (14)$$

Необходимое добавочное усилие на штоке находится так:

$$P_{\text{ТР}} = \frac{M_{\text{ТР}}}{l} = \frac{806}{9} = 90 \text{ кгс} \quad (15)$$

Таким образом, эта добавочная сила составляет лишь $(90/2700) \times 100 = 3\%$ от общей силы на штоке и с избытком компенсируется принятым при определении P_1 запасом на 25% .

Зная необходимое усилие привода $P = 2700 \text{ кгс}$ и давление рабочего агента в силовом цилиндре (воздуха или масла) q , можно определять его диаметр:

$$D = \sqrt{\frac{4 \times P}{\pi \times q \times \eta}} = \frac{4 \times 2700}{3,14 \times 20 \times 0,8} = 14,7 \approx 15 \text{ см} \quad (16)$$

Здесь $q = 20 \text{ кгс/см}^2$ – давление масла в цилиндре; $\eta = 0,8$ – КПД привода.

Ход поршня, определяемый конструктивными соображениями, равен $h = 20 \text{ см}$. По этим параметрам подбирается готовый цилиндр из числа выпускаемых промышленностью, либо он проектируется заново с использованием основных расчетных формул.

Размеры прижимного рычага определяются обычными расчетами на прочность. В частности, необходимый момент сопротивления поперечного сечения в опасном месте определяется расчетом на изгиб по формуле:

$$W = \frac{M_{\text{И}}}{[\sigma]} = \frac{P_2 \times l_2}{[\sigma]} = \frac{860 \times 21}{600} = 30 \text{ см}^3 \quad (17)$$

Выбранное коробчатое сечение квадратной формы $60 \times 60 \text{ мм}$ из листа $\delta = 8 \text{ мм}$ имеет момент сопротивления $W = \frac{4}{3} \times 6^2 \times 0,8 = 38 \text{ см}^3$.

По найденному усилию в шарнире рычага $Q = 4030 \text{ кгс}$ ось шарнира необходимо проверять расчетом на изгиб, а также на удельное давление в поверхности скольжения.

3. Индивидуальное задание.

Исходные данные:

1. балка определенных размеров из конкретной стали (табл. 1, рис. 1 и 2) укладывается в кондуктор (см. рис. 1) для сборки и сварки заданным способом.
2. Момент инерции сечения балки J .
3. Катеты швов k .
4. Эксцентриситет e .
5. Модуль упругости стали E .
6. D – коэффициент (для автоматической сварки 30000, для ручной сварки 40000).
7. Длина одного шва $b_{1M} = 1$ м.
8. Высота шва в опасном сечении h , см.
9. Толщина стенки балки t_{CT} , см. Высота стенки балки h_{CT} , см.
10. $l_3 = 19$ см, $l = 9$ см, $l_1 = 6$ см, $l_2 = 21$ см (см. рис. 2).
11. Угловая деформация $\tan \alpha = 0,01$.
12. Коэффициент трения сухой стали о сталь равен 0,15.
13. $K = 1,25$ – коэффициент запаса.
14. Угол наклона рычага по отношению к оси штока привода равен 45° .
15. Коэффициент трения в шарнире равен 0,1.
16. Радиус оси шарнира равен 2 см.
17. $q = 20$ кгс/см² – давление масла в цилиндре привода.
18. $\eta = 0,8$ – КПД привода.
19. Ход поршня равен 20 см.
20. Предел прочности материала рычага $[\sigma] = 600$ кгс/см².

Таблица 1 – Исходные данные

№ вар.	Мат-л балки	Способ сварки	Стенка балки $h_{CT} \times t_{CT}$, мм	Пояс балки $b \times s$, мм	Длина балки L , м	k , мм	J , см ⁴	e , см	E , кгс/см ²	h , см	σ , кгс/см ²
1	08кп	автом.	400×10	200×16	6	8	11707	10,6	2,03×10 ⁶	0,7	1750
2	20кп	ручн.	500×10	220×10	7	7	19295	12,5	2,12×10 ⁶	0,6	2250
3	ст. 30	автом.	450×10	210×10	8	8	14297	11,5	2×10 ⁶	0,7	2950
4	16ГС	ручн.	380×10	250×10	9	7	10907	9,5	2,08×10 ⁶	0,6	3250
5	25ГС	автом.	520×10	250×10	10	8	25753	13	2,09×10 ⁶	0,7	2500
6	08кп	ручн.	400×10	200×16	6	7	11707	10,6	2,03×10 ⁶	0,6	1750
7	20кп	автом.	500×10	220×10	7	8	19295	12,5	2,12×10 ⁶	0,7	2250
8	ст. 30	ручн.	450×10	210×10	8	7	14297	11,5	2×10 ⁶	0,6	2950

9	16ГС	автом.	380×10	250×10	9	8	10907	9,5	2,08×10 ⁶	0,7	3250
10	25ГС	ручн.	520×10	250×10	10	7	25753	13	2,09×10 ⁶	0,6	2500
11	08кп	автом.	400×10	200×16	6	8	11707	10,6	2,03×10 ⁶	0,7	1750
12	20кп	ручн.	500×10	220×10	7	7	19295	12,5	2,12×10 ⁶	0,6	2250
13	ст. 30	автом.	450×10	210×10	8	8	14297	11,5	2×10 ⁶	0,7	2950
14	16ГС	ручн.	380×10	250×10	9	7	10907	9,5	2,08×10 ⁶	0,6	3250
15	25ГС	автом.	520×10	250×10	10	8	25753	13	2,09×10 ⁶	0,7	2500
16	08кп	ручн.	400×10	200×16	6	7	11707	10,6	2,03×10 ⁶	0,6	1750
17	20кп	автом.	500×10	220×10	7	8	19295	12,5	2,12×10 ⁶	0,7	2250
18	ст. 30	ручн.	450×10	210×10	8	7	14297	11,5	2×10 ⁶	0,6	2950
19	16ГС	автом.	380×10	250×10	9	8	10907	9,5	2,08×10 ⁶	0,7	3250
20	25ГС	ручн.	520×10	250×10	10	7	25753	13	2,09×10 ⁶	0,6	2500
21	08кп	автом.	400×10	200×16	6	8	11707	10,6	2,03×10 ⁶	0,7	1750
22	20кп	ручн.	500×10	220×10	7	7	19295	12,5	2,12×10 ⁶	0,6	2250
23	ст. 30	автом.	450×10	210×10	8	8	14297	11,5	2×10 ⁶	0,7	2950
24	16ГС	ручн.	380×10	250×10	9	7	10907	9,5	2,08×10 ⁶	0,6	3250
25	25ГС	автом.	520×10	250×10	10	8	25753	13	2,09×10 ⁶	0,7	2500
26	08кп	ручн.	400×10	200×16	6	7	11707	10,6	2,03×10 ⁶	0,6	1750
27	20кп	автом.	500×10	220×10	7	8	19295	12,5	2,12×10 ⁶	0,7	2250
28	ст. 30	ручн.	450×10	210×10	8	7	14297	11,5	2×10 ⁶	0,6	2950
29	16ГС	автом.	380×10	250×10	9	8	10907	9,5	2,08×10 ⁶	0,7	3250
30	25ГС	ручн.	520×10	250×10	10	7	25753	13	2,09×10 ⁶	0,6	2500

Определить:

1. Усилия $q_{УС}$, кгс/м, возникающие на зажимах кондуктора под действием усадочных сил после сварки швов.

2. Допускаемую силу прижатия P_2 , кгс для нижних зажимов кондуктора.

3. Проверить, будет ли образовываться при сварке зазор Δ , мм под силой P_2 между стенкой свариваемой балки и опорной поверхностью кондуктора.

4. Усилие P_1 , кгс, с которым давит рычаг на кромку стенки тавра.

5. Требуемое усилие P , кгс на штоке привода.

6. Опорную реакцию шарнира Q , кгс.

7. Диаметр цилиндра привода D , см.
8. Выбрать сечение (коробчатое) для рычага по допустимому значению его момента сопротивления W , см³.

4. Контрольные вопросы.

- 4.1. Для чего необходимо рассчитывать величину усадочных сил $P_{УС}$, действующих на тавровое соединение по оси швов при сварке?
- 4.2. Для чего в расчетах необходимо учитывать высоту шва h в опасном сечении и предел его текучести σ_T ?
- 4.3. Как при расчетах учитывается обратный прогиб полки тавра f , мм при ее прижатии зажимом (усилие P_2 на рис. 2)?
- 4.4. Какие характеристики привода сжатия кондуктора необходимо рассчитывать для его подбора?

5. Литература.

- 5.1. Севбо, П.И. Конструирование и расчет механического сварочного оборудования / П.И. Севбо. – Киев: Наукова думка, 1978.
- 5.2. Рыморов, Е.В. Новые сварочные приспособления / Е.В. Рыморов. – Л.: Стройиздат, 1988.

Практическое занятие №7 "Расчет различных прижимов для сборочно–сварочных приспособлений"

1. Цель.

Научиться рассчитывать прижимы для сборочно–сварочных приспособлений.

2. Общие положения.

Клиновые прижимы компактны, просты в изготовлении и обладают сравнительным быстродействием. В сборочно–сварочном производстве их используют для поджатия одного элемента к другому, выравнивания кромок или как стяжное устройство.

Для обеспечения условия самоторможения клинового прижима необходимо, чтобы $\varphi \leq 2 \times \rho$ для одностороннего клина и $\varphi_1 + \varphi_2 \leq 2 \times \rho$ для двустороннего клина (φ_1 и φ_2 – углы скоса двустороннего клина; φ – угол скоса одностороннего клина; ρ – угол трения; $\operatorname{tg} \rho = f$; f – коэффициент трения скольжения).

Перемещение клина l , необходимое для поджатия детали на величину c (рис. 1), будет $l = \frac{c}{\tan \varphi}$.

Усилие заколачивания клина $P_1 = Q \times [\tan(\varphi + \rho) + \tan \rho]$.

Усилие выколачивания клина $P_2 = Q \times [\tan(\rho - \varphi) + \tan \rho]$.

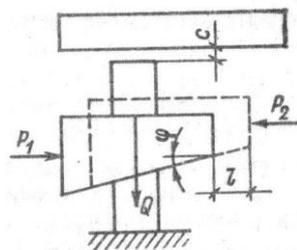


Рисунок 1 – Расчетная схема клинового прижима

Эксцентрикковые прижимы являются быстродействующими и применяются в приспособлениях серийного и массового производства. В сборочно – сварочных приспособлениях преимущественно используют круглые эксцентрики. Прижимное усилие Q , развиваемое таким зажимом (рис. 2), будет $Q = (10 \dots 12) \times P$, где P – усилие, прикладываемое к рукоятке. Если $P = 150 \text{ Н}$, то $Q = 1500 \dots 1800 \text{ Н}$.

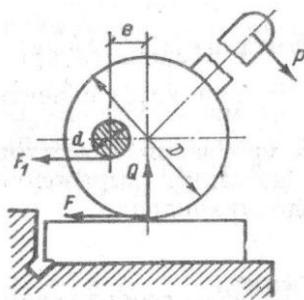


Рисунок 2 – Расчетная схема эксцентриккового прижима

Из условия самоторможения определяют основные размеры эксцентрика:

$$Q \times e \leq F \times \frac{D}{2} + F_1 \times \frac{d}{2}, \quad (1)$$

где F – сила трения в контакте кулачок–деталь;
 $F = f \times Q$;
 F_1 – сила трения на оси вращения кулачка;
 $F_1 = f_1 \times Q$

Тогда,

$$Q \times e \leq f \times Q \times \frac{D}{2} + f_1 \times Q_1 \times \frac{d}{2} \text{ или } e \leq f \times \frac{D}{2} + f_1 \times \frac{d}{2} \quad (2)$$

Так как второе слагаемое очень мало, то им пренебрегают. При $\varphi = 0,15$ для пары сталь – сталь $e \leq 0,075 \times D$.

Винтовые прижимы имеют простую конструкцию, невысокую стоимость, надежны в работе, обеспечивают необходимые (иногда значительные) усилия.

По заданному усилию Q рассчитывают винт, гайку, корпус и элементы крепления прижима к корпусу приспособления (рис. 3).

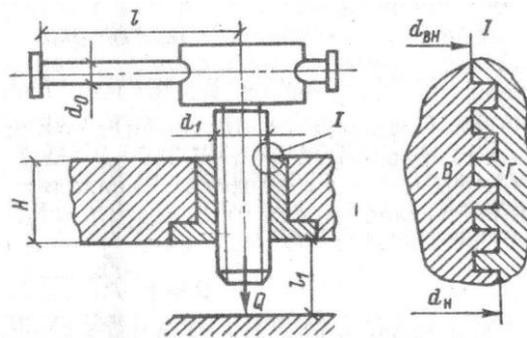


Рисунок 3 – Расчетная схема винтового прижима

Сила на рукоятке W будет равна:

$$W = Q \times \frac{r_c \tan(\alpha + \varphi_1)}{l}, \quad (3)$$

где r_{CP} – средний радиус резьбы, мм;
 l – длина рукоятки, мм;
 α – угол подъема резьбы;
 φ_1 – угол трения в резьбовой паре.

Количество витков резьбы в гайке:

$$n = \frac{Q}{\left[\frac{\pi \times (d_H - d_{BH})^2 \times \rho_0}{4} \right]} \quad (4)$$

где d_H и d_{BH} – наружный и внутренний диаметр резьбы, см;
 ρ_0 – удельное давление на поверхности ниток резьбы: для стального винта и чугунной гайки $\rho_0 = 50 \dots 60$ МПа, для стальной гайки $\rho_0 = 90 \dots 130$ МПа.

Высота гайки:

$$H = \frac{n \times S}{m} \quad (5)$$

где S – шаг винта, см;
 m – число заходов резьбы.

Наружный диаметр винта:

$$d_{\text{НАР}} = \sqrt{\frac{Q}{0,5 \times [\sigma]_P}}, \quad (6)$$

где $[\sigma]_P$ – допускаемое напряжение на растяжение материала винта при переменной нагрузке: $[\sigma]_P = 58 \dots 98$ МПа.

В сборочно–сварочном производстве нашли широкое применение различные зажимные устройства, действующие от пневматического привода. Такой привод (*ГОСТ 18460–81**) прост по конструкции и в управлении, является быстродействующим, надежен и имеет сравнительно малую стоимость.

Силовой пневматический привод (рис. 4) состоит из пневмодвигателя (пнеumoцилиндра, пневмокамеры, пневмошланга или сильфона), пневматической аппаратуры и воздухопроводов (рис. 5).

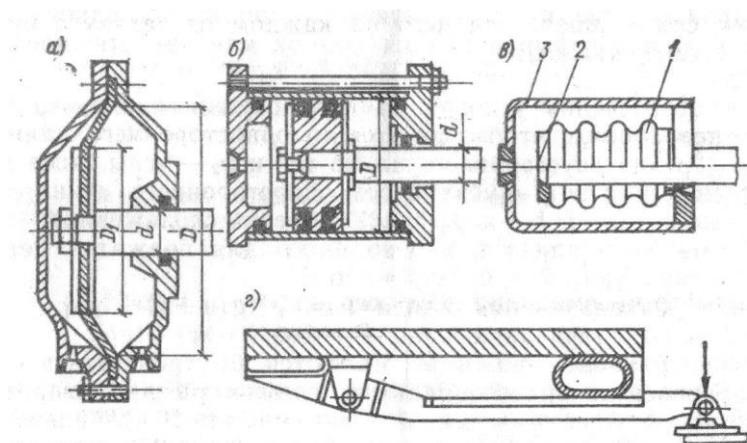


Рисунок 4 – Типы пневмодвигателей:

а – пневмокамера; б – пневмоцилиндр двустороннего действия; в – сильфон;

Γ – пневмошланг; D – диаметр тарелки штока; d – диаметр штока; 1 – гофрированная камера; 2 – тарелка штока; 3 – наружная камера

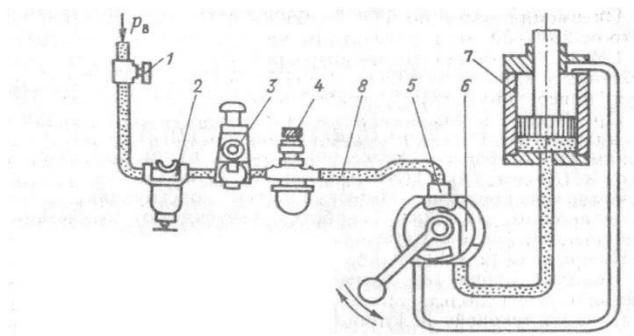


Рисунок 5 – Схема силового пневмопривода: 1 – вентиль воздушный; 2 – водоотделитель; 3 – клапан редукционный; 4 – лубрикатор; 5 – клапан обратный; 6 – кран управления; 7 – пневмоцилиндр; 8 – воздухопровод

При необходимости последовательного включения двух приводов перед одним из них устанавливается дросселирующий клапан, замедляющий скорость поступления воздуха. Для автоматизации пневмоприводов взамен трехходовых кранов ставятся электропневматические клапаны, включение которых производят путевые выключатели.

Осевая сила на штоке пневмоцилиндра одностороннего действия (рис. 6):

$$Q = \pi \times D^2 \times p \times \frac{\eta}{4} - Q_1 \quad (7)$$

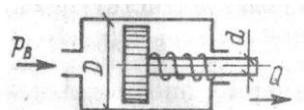


Рисунок 6 – Схема цилиндра одностороннего действия

Осевая сила на штоке пневмоцилиндра двустороннего действия при подаче воздуха со стороны поршня (рис. 4, а):

$$Q = \pi \times D^2 \times p \times \frac{\eta}{4} \quad (8)$$

а со стороны штока:

$$Q = \pi \times (D^2 - d^2) \times p \times \frac{\eta}{4}, \quad (9)$$

где D – диаметр пневмоцилиндра (поршня); d – диаметр штока поршня; p – давление сжатого воздуха; Q_1 – сила сопротивления возвратной пружины в конце рабочего хода поршня; η – КПД, учитывающий потери в пневмоцилиндре: $\eta = 0,85 \dots 0,9$.

Рассчитав диаметр пневмоцилиндра, полученное значение округляют до ближайшего большего по *ГОСТ 15608–81*E*, *6540–68** и по принятому диаметру определяют действительную осевую силу на штоке.

Пневмоцилиндры по *ГОСТ 15698–81*E* выпускаются диаметром 25...400 мм и рассчитаны на давление сжатого воздуха до 1 МПа. Они могут по-разному крепиться на корпусе приспособления и имеют метрическую (*ГОСТ 9150–81*) или коническую присоединительную резьбу трубопроводов в крышках.

Прижимы с пневмокамерами (*ГОСТ 9887–70**) компактны, обладают малой массой. Расчет необходимого диаметра пневмокамеры аналогичен расчету диаметра пневмоцилиндра, однако КПД камер $\eta = 0,6...0,85$, причем значение его для пневмокамер одностороннего действия зависит от хода штока.

В прижимах с пневмошлангами используются прорезиненные пожарные рукава. Возврат прижима может осуществляться возвратным шлангом либо пружиной.

Подвод сжатого воздуха и управление пневмоприжимом осуществляется с использованием различной аппаратуры (рис. 5) – маслораспылителей, фильтров–влагоотделителей (*ГОСТ 17437–81*E*), кранов запорных, регуляторов давления (*ГОСТ 18468–79*E*), дросселей (регуляторов скорости), кранов управления или ЭПК, обратных клапанов, глушителей шума и трубопроводов. Для подвода сжатого воздуха к пневмоприводам, вращающимся вместе с планшайбой или рамой приспособления, применяют муфты одностороннего или двустороннего действия.

Большинство зажимных устройств сборочно–сварочных приспособлений с пневматическим приводом, как правило, снабжаются механическими рычажными или клиновыми усилителями в виде рычагов 1 – го и 2 – го родов.

В конструктивном отношении **гидравлические прижимы** аналогичны пневматическим. Гидравлические прижимы обеспечивают значительно большие усилия (в 10 и более раз) по сравнению с пневматическими того же диаметра, не требуют смазки, работают плавно и бесшумно. В сборочно–сварочных приспособлениях и установках их применяют, когда диаметры цилиндра (более 60 мм) трудно вписать в конструкцию. Расчет гидроцилиндров аналогичен расчету пневмоцилиндров. Выбор гидравлических цилиндров производят по *ГОСТ 6540–68**.

Существенными недостатками пневмоприводов являются высокая первоначальная стоимость (за счет необходимости иметь дорогую гидростанцию) и усложнение эксплуатации из-за частой утечки масла, что ограничивает их применение.

Пневмогидравлические приводы, сочетающие в себе пневматический и гидравлический цилиндры с пневмогидравлическим мультипликатором, обеспечивают значительные силы зажима при небольших габаритах и

быстродействию привода. Они находят применение в одно-, многоместных и многопозиционных приспособлениях.

Пневмогидравлические приводы работают от сжатого воздуха давлением $0,4 \dots 0,6 \text{ МПа}$ из цеховой сети при давлении масла в гидравлической части привода $6 \dots 10 \text{ МПа}$, создаваемом пневмогидравлическим мультипликатором (преобразователем).

В приспособлениях могут применяться пневмогидроприводы с преобразователями давления прямого (рис. 7, а) или последовательного (рис. 7, б) действия.

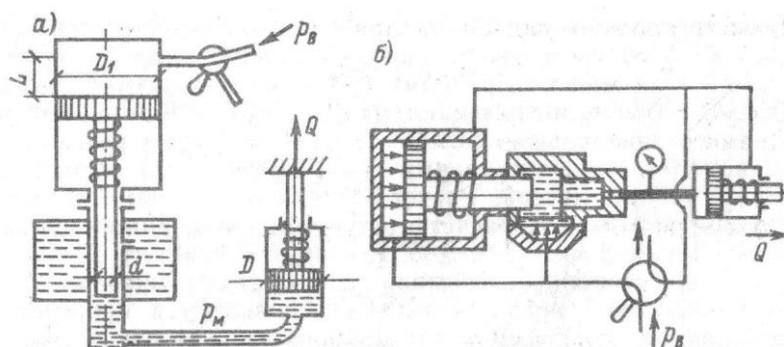


Рисунок 7 – Схемы пневмогидравлических приводов прямого (а) и последовательного (б) действия

Расчет силы Q на штоке рабочего гидроцилиндра (рис. 7, а) ведем из условия равновесия привода, т.е.:

$$p_M \times \pi \times \frac{d^2}{4} = p_B \times \pi \times \frac{D_1^2}{4} \quad (10)$$

Из этого уравнения: $p_M = p_B \times \left(\frac{D_1}{d}\right)^2$.

Тогда:

$$Q = \pi \times D^2 \times p_M \times \eta_0 = p_B \times \frac{D_1^2}{d^2} \times \pi \times D^2 \times \eta_0 \times \frac{\eta_B}{4}, \quad (11)$$

где η_0 – КПД гидроцилиндра: $\eta_0 = 0,8 \dots 0,85$; η_B – КПД пневмоцилиндра: $\eta_B = 0,85 \dots 0,95$.

Величина хода штока пневмоцилиндра:

$$L = l \times \left(\frac{D}{d}\right)^2 \times n / \eta_0, \quad (12)$$

где l – ход штока рабочего гидроцилиндра, см; n – число рабочих гидроцилиндров, питаемых данным преобразователем; η_0 – объемный КПД привода: $\eta_0 = 0,95$.

Диаметр рабочего гидроцилиндра:

$$D = 1,13 \times \sqrt{\frac{Q}{p_M}} \quad (13)$$

Диаметр штока пневмоцилиндра: $d = D \times (1,75 \dots 2,5)$.

Диаметр пневмоцилиндра:

$$D_1 = d \times \sqrt{\frac{p_M}{p_B \times \eta_B}} \quad (14)$$

Объем сжатого воздуха, расходуемого на одно зажатие детали:

$$V = \frac{\pi}{4} \times D_1^2 \times L \quad (15)$$

В вакуумных прижимах закрепление тонкостенных деталей производится под избыточным атмосферным давлением, возникающим за счет разряжения в вакуумной полости (рис. 8).

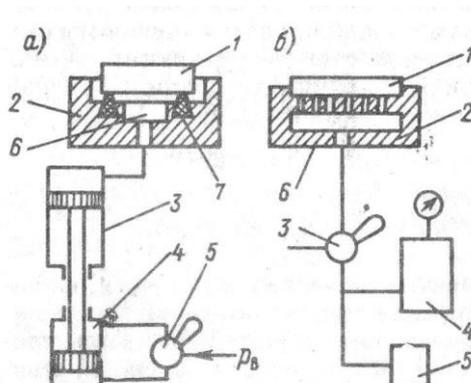


Рисунок 8 – Схемы вакуумных прижимов с приводом от пневмоцилиндра (а) и от вакуумного насоса (б)

Это разряжение может создаваться вакуумным цилиндром 3 (рис. 8, а), соединенным каналом с вакуумной полостью 6. Герметичность полости 6 обеспечивается резиновой прокладкой 7, установленной в корпусе 2 приспособления. Управление пневмоцилиндром 4, связанным с вакуумным цилиндром 3, осуществляется распределительным краном 5, к которому подводится сжатый воздух от цеховой пневмосети.

Сила зажима W детали 1 будет:

$$W = (p_a - p_o) \times F - p_y, \quad (16)$$

где p_a – атмосферное давление, МПа; p_o – остаточное давление в камере после разрежения: $p = 0,01 \dots 0,015$ МПа; F – площадь, ограниченная внутренним контуром резиновой прокладки; p_y – упругая сила сжатой резиновой прокладки, Н.

Для надежного закрепления детали необходимо, чтобы $p_a - p_o \geq 0,07$ МПа. В рабочей камере достаточно $p_o = 0,01 \dots 0,015$ МПа, так как создавать более глубокий вакуум дорого и малоэффективно.

В прижимах, имеющих вакуумный насос и работающих по схеме рис. 8, б, прижатие детали 1 к корпусу 2 осуществляется при создании разрежения в полости 6. Распределительный кран 3 при включении прижима соединяет вакуумную камеру 6 с вакуумным насосом 5 и ресивером 4. Для разжима детали распределительный кран соединяет вакуумную полость приспособления с атмосферой.

Электромеханические прижимы бесшумны в работе, долговечны, имеют небольшие эксплуатационные расходы, сравнительно быстроходны и обеспечивают самоторможение.

Электромеханический прижим (рис. 9) состоит из электродвигателя 1, редуктора 2 и винтовой пары 5 и 6.

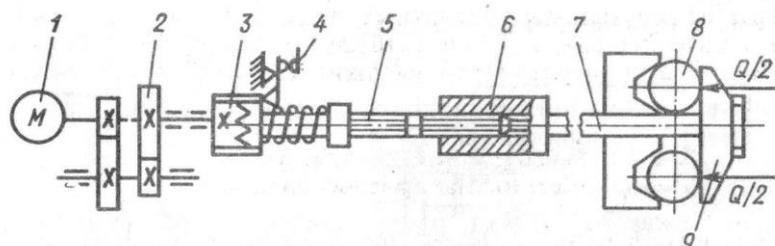


Рисунок 9 – Схема электромеханического привода

От электродвигателя 1 вращение передается через предохранительную муфту 3. Винт 5 при вращении перемещает гайку 6 вправо или влево, а с ней – и шток 7, передающий посредством рычага 9 зажимное усилие детали 8. Когда достигается требуемая сила, момент на валу электродвигателя и сила тока значительно возрастают и реле тока 4 отключает двигатель.

Тяговая сила:

$$Q = 71620 \times N \times \eta \times i / [n \times r_{CP} \times \tan(\alpha + \varphi)], \quad (17)$$

где N – мощность электродвигателя; η – КПД редуктора; i – передаточное отношение редуктора; n – частота вращения электродвигателя, мин^{-1} ; r_{CP} – средний радиус резьбы винта, см; α – угол подъема резьбы винта, град.; φ – угол трения в резьбовом соединении, град.

Электромагнитные и магнитные прижимы широко используются в приспособлениях для сборки и сварки тонколистовых полотнищ. Преимуществами таких приспособлений являются: универсальность, быстродействие, отсутствие на верхней стороне приспособления каких-нибудь выступающих частей, простота и компактность. Их применяют для установки и зажима деталей с большой магнитной проницаемостью (незакаленных углеродистых сталей, чугунов и некоторых легированных сталей).

Электромагнитные приводы встраивают в плиту, на верхней плоскости которой устанавливается деталь. Магнитную цепь образуют электромагнитные катушки через магнитопроводы, деталь и основание. Магнитопроводы изолируются от корпуса плиты немагнитной прокладкой. Питание электромагнитов осуществляется постоянным током напряжением 110 или 220 В от выпрямителя. Основные размеры и технические характеристики прямоугольных электромагнитных плит даны в *ГОСТ 17519–87**.

Силу притяжения при закреплении детали магнитным полем можно найти по формуле:

$$Q = 4,06 \times \frac{\Phi^2}{S}, \quad (18)$$

где Φ – магнитный поток, пересекающий опорную поверхность детали, Вб; S – активная площадь токосъемников, см².

Магнитные прижимы не требуют питания током. Основные размеры прямоугольных магнитных плит и технические требования к ним приведены в *ГОСТ 16528–87**. Плиты с постоянными магнитами обеспечивают удерживающую силу до 1,5 МПа.

3. Индивидуальное задание.

3.1. Расчет клинового прижима.

Исходные данные:

1. Согласно рис. 1 и табл. 1 имеются два клиновых стальных прижима (Ст. 3) с односторонним клином, при помощи которых необходимо осуществить поджатие стальной трубы (Ст. 3) определенной массы Q , кгс

(1200) и состояния поверхности к стальным установочным поверхностям двухстоечного поворотного кантователя (рис. 10) таким образом, чтобы труба не выпала в процессе сварки при повороте кантователя в наиболее опасное положение (поворот на 90° из плоскости).

2. Коэффициент трения скольжения стали о сталь: $f = 0,8$ – для чистой сухой поверхности; $f = 0,2$ – для жирной, обмасленной поверхности.

3. Зазор между клиньями и трубой c , мм.

4. Угол скоса одностороннего клина φ , $^\circ$.

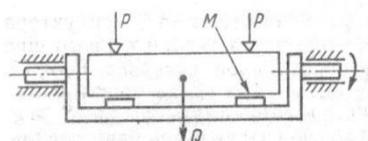


Рисунок 10 – Схема установки трубы в двухстоечном поворотном кантователе

Таблица 1 – Исходные данные для расчета клиновых прижимов

№ п/п	Q, кгс	состояние поверхности трубы	c, мм	φ , $^\circ$
1	800	сухая, чистая	300	90
2	900	обмасленная	250	85
3	1000	сухая, чистая	200	80
4	1100	обмасленная	300	95
5	1200	сухая, чистая	250	100
6	800	обмасленная	200	90
7	900	сухая, чистая	300	85
8	1000	обмасленная	250	80
9	1100	сухая, чистая	200	95
10	1200	обмасленная	300	100
11	800	сухая, чистая	250	90
12	900	обмасленная	200	85
13	1000	сухая, чистая	300	80
14	1100	обмасленная	250	95
15	1200	сухая, чистая	200	100
16	800	обмасленная	300	90
17	900	сухая, чистая	250	85
18	1000	обмасленная	200	80
19	1100	сухая, чистая	300	95
20	1200	обмасленная	250	100
21	800	сухая, чистая	200	90
22	900	обмасленная	300	85
23	1000	сухая, чистая	250	80
24	1100	обмасленная	200	95
25	1200	сухая, чистая	300	100
26	800	обмасленная	250	90
27	900	сухая, чистая	200	85
28	1000	обмасленная	300	80
29	1100	сухая, чистая	250	95
30	1200	обмасленная	7	5

Определить:

1. Угол трения клиньев о трубу ρ , $^\circ$.
2. Перемещение клиньев l , см, необходимое для поджатия трубы с необходимым усилием.
3. Усилие заколачивания клина P_1 , кгс.
4. Усилие выколачивания клина P_2 , кгс.
5. Проверить условие самоторможения клина.

3.2. Расчет эксцентрикового прижима.

Исходные данные:

1. Согласно рис. 2 и табл. 2 имеется быстродействующий эксцентриковый прижим, поджимающий стальной свариваемый лист к стальному основанию приспособления при сварке.

2. Требуемое усилие P, H , прикладываемое к рукоятке круглого эксцентрика.

3. Коэффициент трения скольжения стали о сталь: $f = 0,8$ – для чистой, сухой поверхности; $f = 0,2$ – для жирной, обмасленной поверхности.

4. Коэффициент трения для оси вращения кулачка $f_1 = 0,7$.

Таблица 2 – Исходные данные для расчета эксцентриковых прижимов

<i>№ п/п</i>	<i>P, H</i>	<i>состояние поверхности листа</i>
1	300	сухой
2	260	обмасленный
3	250	сухой
4	200	обмасленный
5	150	сухой
6	300	обмасленный
7	260	сухой
8	250	обмасленный
9	200	сухой
10	150	обмасленный
11	300	сухой
12	260	обмасленный
13	250	сухой
14	200	обмасленный
15	150	сухой
16	300	обмасленный
17	260	сухой
18	250	обмасленный
19	200	сухой
20	150	обмасленный
21	300	сухой
22	260	обмасленный
23	250	сухой
24	200	обмасленный
25	150	сухой
26	300	обмасленный
27	260	сухой
28	250	обмасленный
29	200	сухой
30	150	обмасленный

Определить:

1. Прижимное усилие Q, H , развиваемое зажимом.

2. Исходя из условия самоторможения эксцентрика, определить его основные размеры, т.е. диаметр кулачка $D, см$, диаметр пальца $d, см$ для вращения кулачка, а также величину эксцентриситета $e, см$.

Расчет винтового прижима.

Исходные данные:

1. Задано усилие Q , кгс винтового прижима приспособления для сборки–сварки стальных рам (рис. 3 и табл. 3).
2. Допускаемое напряжение на растяжение материала винта при переменной нагрузке $[\sigma]_p$, МПа.
3. Удельное давление на поверхности ниток резьбы ρ_0 , МПа: для стального винта и чугунной гайки $\rho_0 = 50 \dots 60$ МПа, для стальной гайки $\rho_0 = 90 \dots 130$ МПа.
4. Коэффициент трения стали о сталь для пары винт–гайка: $f_R = 0,8$.
5. Длина рукоятки винтового прижима l , см.
6. Угол подъема резьбы $\alpha, ^\circ$ определять по формуле $\alpha = \arctg\left(\frac{P}{\pi \times d_2}\right)$, где P – шаг резьбы, мм; d_2 – средний диаметр резьбы, мм.
7. Угол трения резьбовой пары $\varphi_1, ^\circ$ рассчитывать по формуле $\varphi_1 = \arctg(f_R)$, где f_R – коэффициент трения материалов сопрягаемых деталей.

Таблица 3 – Исходные данные для расчета винтовых прижимов

$\frac{N_0}{n/n}$	$Q, Н$	$[\sigma]_p, МПа$	$l, см$
1	1000	60	50
2	1100	70	45
3	1200	80	40
4	1300	90	35
5	1400	95	30
6	1000	60	50
7	1100	70	45
8	1200	80	40
9	1300	90	35
10	1400	95	30
11	1000	60	50
12	1100	70	45
13	1200	80	40
14	1300	90	35
15	1400	95	30
16	1000	60	50
17	1100	70	45
18	1200	80	40
19	1300	90	35
20	1400	95	30
21	1000	60	50
22	1100	70	45
23	1200	80	40
24	1300	90	35
25	1400	95	30
26	1000	60	50
27	1100	70	45
28	1200	80	40
29	1300	90	35
30	1400	95	30

Определить:

1. Наружный диаметр винта $d_{НАР}$, мм.
2. Наружный d_H , мм и внутренний $d_{ВН}$, мм диаметры резьбы гайки.
3. Количество витков резьбы в гайке n , шт.
4. Силу на рукоятке винтового прижима W , Н.

Пример расчета прижимов представлен ниже.

Расчет клинового прижима.

Исходные данные:

1. Согласно рис. 1 и табл. 1 имеются два клиновых стальных прижима (Ст. 3) с односторонним клином, при помощи которых необходимо осуществить поджатие стальной трубы (Ст. 3) определенной массы Q , кгс (1200) и состояния поверхности к стальным установочным поверхностям двухстоечного поворотного кантователя (рис. 10) таким образом, чтобы труба не выпала в процессе сварки при повороте кантователя в наиболее опасное положение (поворот на 90° из плоскости).

2. Коэффициент трения скольжения стали о сталь: $f = 0,8$ – для чистой сухой поверхности; $f = 0,2$ – для жирной, обмасленной поверхности.

3. Зазор между клиньями и трубой c , мм.

4. Угол скоса одностороннего клина φ , $^\circ$.

Таблица 1 – Исходные данные для расчета клиновых прижимов

№ п/п	Q , кгс	состояние поверхности трубы	c , мм	φ , $^\circ$
30	1200	обмасленная	7	5

Определить:

1. Угол трения клиньев о трубу ρ , $^\circ$.

2. Перемещение клиньев l , см, необходимое для поджатия трубы с необходимым усилием.

3. Усилие заколачивания клина P_1 , кгс.

4. Усилие выколачивания клина P_2 , кгс.

5. Проверить условие самоторможения клина.

Решение:

1. Угол трения ρ , $^\circ$ клиньев о трубу можно найти из формулы:

$$\tan \rho = f \rightarrow \rho = \arctan f = \arctan 0,2 = 11,3 (^\circ)$$

2. Перемещение клиньев l , см, необходимое для поджатия трубы с необходимым усилием, можно найти по формуле:

$$l = \frac{c}{\tan \varphi} = \frac{0,7}{\tan 5} = \frac{0,7}{0,087} = 8,05 \text{ (см)}$$

3. Так как клина два, то усилие заколачивания одного из них P_1 , кгс можно найти по формуле:

$$P_1 = \frac{Q \times [\tan(\varphi + \rho) + \tan \rho]}{2} = \frac{1200 \times [\tan(5 + 11,3) + \tan 11,3]}{2} = 294 \text{ кгс (2940 Н)}$$

4. Так как клина два, то усилие выколачивания одного из них P_2 , кгс можно найти по формуле:

$$P_2 = \frac{Q \times [\tan(\rho - \varphi) + \tan \rho]}{2} = \frac{1200 \times [\tan(11,3 - 5) + \tan 11,3]}{2} = 186 \text{ кгс (1860 Н)}$$

5. Условие самоторможения одностороннего клина:

$$\varphi \leq 2 \times \rho \rightarrow 5 < 2 \times 11,3 - \text{верно.}$$

Расчет эксцентрикового прижима.

Исходные данные:

1. Согласно рис. 2 и табл. 2 имеется быстродействующий эксцентриковый прижим, поджимающий стальной свариваемый лист к стальному основанию приспособления при сварке.

2. Требуемое усилие P , H , прикладываемое к рукоятке круглого эксцентрика.

3. Коэффициент трения скольжения стали о сталь: $f = 0,8$ – для чистой, сухой поверхности; $f = 0,2$ – для жирной, обмасленной поверхности.

4. Коэффициент трения для оси вращения кулачка $f_1 = 0,7$.

Таблица 2 – Исходные данные для расчета эксцентриковых прижимов

<i>№ п/п</i>	<i>P, H</i>	<i>состояние поверхности листа</i>
30	150	обмасленный

Определить:

1. Прижимное усилие Q , H , развиваемое зажимом.

2. Исходя из условия самоторможения эксцентрика, определить его основные размеры, т.е. диаметр кулачка D , см, диаметр пальца d , см для вращения кулачка, а также величину эксцентриситета e , см.

Решение:

1. Прижимное усилие Q , H , развиваемое зажимом, можно определить по формуле:

$$Q = (10 \dots 12) \times P = 11 \times 150 = 1650 \text{ (Н)}$$

2. Условие самоторможения эксцентрика имеет вид:

$$Q \times e \leq f \times Q \times \frac{D}{2} + f_1 \times Q_1 \times \frac{d}{2}$$
$$1650 \times e \leq 0,2 \times 1650 \times \frac{D}{2} + 0,7 \times 1650 \times \frac{d}{2}$$
$$e \leq 0,1 \times D + 0,35 \times d$$

Подбираем величину эксцентриситета, диаметр кулачка и диаметр пальца:

$$3 \leq 0,1 \times 15 + 0,35 \times 6$$

$$3 \leq 3,6 - \text{верно}$$

Значит,

$e = 3 \text{ см}$ – эксцентриситет прижима;

$D = 15 \text{ см}$ – диаметр кулачка прижима;

$d = 6 \text{ см}$ – диаметр пальца прижима.

Расчет винтового прижима.

Исходные данные:

1. Задано усилие Q , кгс винтового прижима приспособления для сборки–сварки стальных рам (рис. 3 и табл. 3).

2. Допускаемое напряжение на растяжение материала винта при переменной нагрузке $[\sigma]_p$, МПа.

3. Удельное давление на поверхности ниток резьбы ρ_0 , МПа: для стального винта и чугунной гайки $\rho_0 = 50 \dots 60 \text{ МПа}$, для стальной гайки $\rho_0 = 90 \dots 130 \text{ МПа}$.

4. Коэффициент трения стали о сталь для пары винт–гайка: $f_R = 0,8$.

5. Длина рукоятки винтового прижима l , см.

6. Угол подъема резьбы $\alpha, ^\circ$ определять по формуле $\alpha = \arctg\left(\frac{P}{\pi \times d_2}\right)$, где P – шаг резьбы, мм; d_2 – средний диаметр резьбы, мм.

7. Угол трения резьбовой пары $\varphi_1, ^\circ$ рассчитывать по формуле $\varphi_1 = \arctg(f_R)$, где f_R – коэффициент трения материалов сопрягаемых деталей.

Таблица 3 – Исходные данные для расчета винтовых прижимов

$\frac{N_0}{n/n}$	$Q, Н$	$[\sigma]_P, МПа$	$l, см$
30	1400	95	30

Определить:

1. Наружный диаметр винта $d_{НАР}, мм$.
2. Наружный $d_H, мм$ и внутренний $d_{ВН}, мм$ диаметры резьбы гайки.
3. Количество витков резьбы в гайке $n, шт$.
4. Силу на рукоятке винтового прижима $W, Н$.

Решение:

1. Следует помнить, что $1МПа = 1 \times 10^6 Н/м^2$.
2. Наружный диаметр винта можно определить по формуле:

$$d_{НАР} = \sqrt{\frac{Q}{0,5 \times [\sigma]_P}} = \sqrt{\frac{1400}{0,5 \times 95 \times 10^6}} = 0,0054 (м) = 5,4 (мм)$$

Таким образом, подбираем по *ГОСТ 1491–80* стальной винт с номинальным диаметром 6 мм (*М6*). Диаметр головки $D=10$ мм. Высота головки $k=3,9$ мм.

3. Стальную гайку подбираем по *ГОСТ 24705–81*: наружный диаметр резьбы $d_H=6$ мм, внутренний диаметр резьбы $d_{ВН}=5,188$ мм, шаг резьбы 0,75 мм, средний радиус резьбы $r_{CP}=5,513/2=2,7565$ мм.

4. Угол подъема резьбы $\alpha, ^\circ$ можно определить по формуле:

$$\alpha = \arctg\left(\frac{P}{\pi \times d_2}\right),$$

где P – шаг резьбы, мм;

d_2 – средний диаметр резьбы, мм.

Тогда,

$$\alpha = \arctg\left(\frac{P}{\pi \times d_2}\right) = \arctg\left(\frac{0,75}{3,14 \times 5,513}\right) = 2,46 (^\circ)$$

5. Угол трения резьбовой пары φ_1 , ° можно найти по формуле:

$$\varphi_1 = \operatorname{arctg}(f_R),$$

где f_R – коэффициент трения материалов сопрягаемых деталей.

Значит,

$$\varphi_1 = \operatorname{arctg}(f_R) = \operatorname{arctg}0,8 = 38,66 \text{ (}^\circ\text{)}$$

6. Количество витков резьбы в гайке n , *шт* можно определить по формуле:

$$n = \frac{Q}{\left[\frac{\pi \times (d_H - d_{BH})^2 \times \rho_0}{4} \right]} = \frac{1400}{\left[\frac{3,14 \times (0,006 - 0,005188)^2 \times 100 \times 10^6}{4} \right]} = 27 \text{ (штук)}$$

7. Силу на рукоятке винтового прижима W , *H* можно найти по формуле:

$$W = Q \times \frac{r_c}{l} \times \frac{\tan(\alpha + \varphi_1)}{1} = 1400 \times \frac{2,7565}{300} = 14,8 \text{ (H)}$$

4. Контрольные вопросы.

4.1. Какие виды прижимов, используемых в сборочно–сварочных приспособлениях, вы знаете?

4.2. Какие из прижимов относятся к группе механических прижимов?

4.3. В чем состоит принцип работы клинового прижима?

4.4. В чем состоит принцип работы эксцентрикового прижима?

4.5. В чем состоит принцип работы винтового прижима?

4.6. В чем состоит принцип работы пневматического прижима?

4.7. В чем состоит принцип работы гидравлического прижима?

4.8. Преимущества и недостатки гидравлических прижимов в сравнении с пневматическими.

4.9. В чем состоит принцип работы электромеханического и электромагнитного прижимов?

4.10. Для чего при расчете винтовых прижимов необходимо пользоваться *ГОСТ 1491–80* и *ГОСТ 24705–81*?

5. Литература.

5.1. Рыморов, Е.В. Новые сварочные приспособления / Е.В. Рыморов. – Л.: Стройиздат, 1988.

5.2. Севбо, П.И. Конструирование и расчет механического сварочного оборудования / П.И. Севбо. – Киев: Наукова думка, 1978.

5.3. Интернет: <http://smetiz.ru/catalog/vint/3153/>.

Практическое занятие №8

“Внешнее управление регулятором цикла сварки контактной машины в режиме реального времени”

1. Цель.

Изучить принцип работы регулятора цикла сварки контактной машины и разработать графический программный код автоматического управления регулятором с игнорированием его первоначальных настроек.

2. Общие положения.

При контактной сварке (точечной, рельефной, шовной, конденсаторной и др.) основным процессом является высокотемпературный нагрев, т.е. металл зоны соединения разогревается и, в большинстве случаев, расплавляется путем пропускания через детали больших токов (тысячи ампер) в течение заданного времени.

При этом для того, чтобы обеспечить равномерность протекания термомеханических процессов в зоне сварки, а также предотвратить возможность возникновения различного рода дефектов (выплески расплавленного металла, несплошности литой зоны, остаточные напряжения в околошовной зоне и др.), к циклу высокотемпературного нагрева добавляются дополнительные циклы, в результате чего процесс может включать этапы (циклы):

- предварительное сжатие деталей электродами (перед включением тока);
- основное сжатие деталей электродами;
- пропускание через детали импульса тока подогрева;
- пропускание через детали основного импульса тока (сварочного);
- повышенное (ковочное) сжатие деталей электродами;
- проковка зоны сварки (выдержка деталей в сжатом состоянии после выключения импульса сварочного тока);
- пропускание через детали импульса термообработки;
- пауза до следующего цикла сварки и др.

На рис. 1 в качестве примера показаны три типичные циклограммы процесса контактной рельефной сварки деталей из низкоуглеродистой стали.

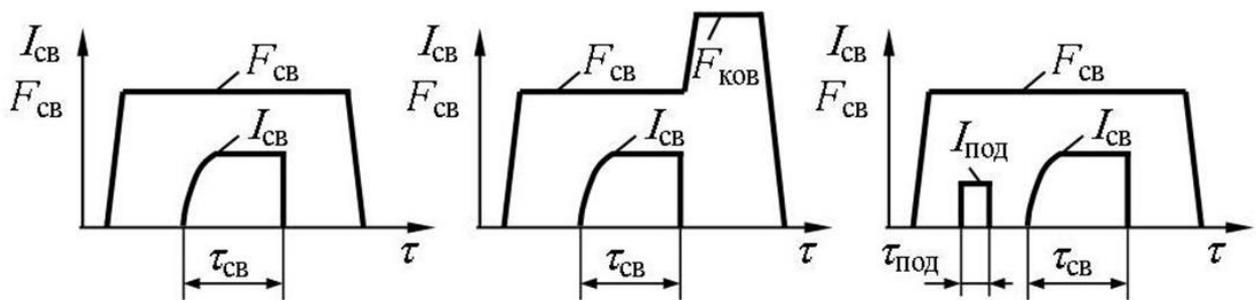


Рисунок 1 – Циклограммы процесса рельефной сварки:

F_{CB} – усилие на электродах; $F_{КОВ}$ – ковочное усилие; I_{CB} – сварочный ток;
 $I_{ПОД}$ – ток подогрева; τ_{CB} – длительность протекания сварочного тока;
 $\tau_{ПОД}$ – длительность протекания тока подогрева

Именно регулятор цикла сварки и является устройством, главная функция которого – управление контактной машиной путем задания и отработки необходимой циклограммы процесса сварки. В свою очередь, задание циклограммы процесса сварки включает в себя:

- задание временных параметров (τ_{CB} , $\tau_{ПОД}$ и др.);
- задание силовых параметров (I_{CB} , $I_{ПОД}$ и др.);
- задание режимов отработки циклограммы (одиночная сварка, сварка по автоматическому циклу и др.);
- и прочее.

Непосредственное управление контактной машиной осуществляется при подаче импульсов управления с регулятора цикла сварки на ее электропневмоклапаны и тиристорные контакторы в соответствии с обрабатываемой циклограммой процесса сварки.

Сегодня на заводах постсоветского пространства довольно широко распространены регуляторы цикла сварки типа *PKC-801*, которыми укомплектовываются машины контактной точечной сварки *MT-3201*, *MT-1617* и др.

Главные достоинства данных регуляторов – простота в настройке и удовлетворительная ремонтпригодность.

Главные их недостатки:

- невозможность автоматической корректировки первоначально настроенных параметров режима сварки в том случае, если на процесс внезапно начинают оказывать влияние возмущающие воздействия (скачки напряжения питающей сети, изменение состояния поверхности электродов от цикла к циклу, изменение состояния поверхности деталей от цикла к циклу, изменение сопротивления вторичного контура, неумышленное введение в зону сварки ферромагнитных масс, появление инерционности в работе привода сжатия и др.);
- невозможность задавать на регуляторе импульсы сварочного тока необходимой формы (импульс тока можно задавать только плавно нарастающим до максимального, установленного значения);

– регулятор, согласно техническому паспорту, непосредственно в процессе сварки может в установленных пределах ($\pm 3-4$ периода сетевого напряжения) изменять задаваемые на нем временные параметры режима, что неизбежно нарушает равномерность и величину требуемого тепловложения в зону сварки, что зачастую приводит к различным дефектам литых зон соединений, причем расход силовой электроэнергии при этом неизбежно завышается.

Для того, чтобы устранить все указанные недостатки регулятора цикла сварки, необходимо создать систему, которая будет способна в автоматическом режиме без остановки технологического процесса изменять необходимые параметры режима сварки при игнорировании начальных настроек регулятора в случае необходимости, которую система определит сама.

Для создания такой системы нам необходимо использовать аналого–цифровое устройство сбора данных *NI USB 6251* и программное обеспечение для него – среду графического программирования электротехнических процессов *LabVIEW 2010*.

NI USB 6251 – это универсальный аналого–цифровой преобразователь, представляющий собой цифровую портативную микросхемную плату, которая позволяет регистрировать различные электрические сигналы, поступающие на ее входы, обрабатывать их, анализировать, а также формировать выходные аналоговые и цифровые сигналы для управления работой различных приборов (рис. 2).



Рисунок 2 – Устройство сбора данных *NI USB 6251*

Устройство *NI USB 6251* содержит один аналого–цифровой преобразователь (*АЦП–ADC*). Чем выше точность самого *АЦП* и чем больше число измеряемых интервалов, которое зависит от быстродействия *АЦП* и объема памяти *ОЗУ*, тем выше точность измерения. *PGA* (усилитель с программируемым коэффициентом усиления) обеспечивает усиление входного сигнала в 1, 2, 4, 5, 8, 10, 16 или 20 раз в дифференциальной схеме подключения, и 1 в схеме с общим проводом. Усиление вычисляется автоматически на основании диапазона входных напряжений. *A/D Converter* (аналого–цифровой преобразователь) выполняет дискретизацию аналогового сигнала, то есть переводит его в цифровой код. Устройство *NI USB 6251* может выполнять как однократное, так и многократное аналого–цифровое

преобразование большого количества выборок. *AI FIFO* (*FIFO* буфер операций аналогового ввода) служит для хранения получаемых данных во избежание их потери во время операции аналогового ввода.

LabVIEW 2010 – это универсальный программный комплекс, включающий в себя специальное программное обеспечение для создания и использования виртуальных приборов, позволяющий создавать программы для получения, сохранения и анализа сигналов, полученных с помощью устройства *NI USB 6251*. Программа *LabVIEW 2010* позволяет не только имитировать любые электротехнические приборы, датчики, регуляторы и т.д., но и программировать ход протекающих через них электрических сигналов вне зависимости от их типа и величины. Это возможно благодаря мощной инструментальной библиотеке данного программного продукта.

Передача управляющих импульсов напряжения на регулятор цикла сварки *PKC-801* со стороны создаваемой системы будет осуществляться посредством подключения дополнительного разъема *РШАВКУ-14*, расположенного на задней панели регулятора.

3. Индивидуальное задание.

3.1. Ознакомиться с теоретическими аспектами касательно вопроса назначения регулятора цикла сварки, преимуществ и главных недостатков в его работе.

3.2. Изучить назначение и принцип работы устройства сбора данных *NI USB 6251*, его технические характеристики и возможности.

3.3. Изучить на *ЭВМ* среду графического программирования электротехнических процессов *LabVIEW 2010*, ее назначение и возможности.

3.4. Собрать экспериментальную установку на базе устройства *NI USB 6251* и программной среды *LabVIEW 2010* для реализации внешнего автоматического управления работой регулятора цикла сварки *PKC-801* с игнорированием его первоначальных настроек.

3.5. Построить на *ЭВМ* в интерфейсе программы *LabVIEW 2010* имитационную модель (графический программный код) для регистрации устройством *NI USB 6251* необходимых сигналов процесса сварки, их визуализации, обработки и анализа, а также выработки в сторону регулятора *PKC-801* управляющих импульсов напряжения определенной амплитуды с целью задания им на тиристорном контакторе ступенчатого импульса сварочного тока и автоматического выключения тока в зависимости от анализа системой тепловложения на каждой из ступеней задания тока.

Этапы создания:

Загружаем программу *LabVIEW 2010* на *ЭВМ*, в появившемся окне нажимаем "*New*" / "*Blank VI*".

2. В появившемся окне "*Untitled 1 Front Panel*" нажимаем на панели инструментов "*Window*" / "*Show Block Panel*".

3. Под панелью инструментов появлялся белый экран (рабочее поле). Наводим на него мышь и правой клавишей вызываем меню *"Functions"/"Express"/"Execution Control"/"Flat Sequence"*. Появившийся инструмент перетаскиваем левой клавишей мыши на рабочее поле. В результате создается кадровая последовательность. Это необходимо для того, чтобы создаваемые циклы (приема и обработки сигналов, их генерации и т.д.) срабатывали в системе регулирования в строгой последовательности, т.е. один за другим.

4. Нажимаем левой клавишей мыши на блок кадровой последовательности для вызова контекстного меню, после чего выбираем *"Add Frame After"* и повторно нажимаем левую клавишу мыши. Повторяем данную операцию 5 раз. В результате мы разбиваем кадровую последовательность на 5 последовательных кадров, в каждом из которых в дальнейшем будет располагаться свой цикл (циклы) – приема, обработки или генерации сигналов, но срабатывать они будут в строгой последовательности друг относительно друга.

5. На рабочем поле правой клавишей мыши вызываем меню *"Functions"/"Express"/"Input"*. В появившемся окне виртуальных приборов перетаскиваем левой клавишей мыши на рабочее поле прибор *"DAQ Assist Input"*. После инициализации прибора появляется его меню *"Creat New Express Task"*. Нажимаем *"Acquire Signals"/"Digital Input"/"Port0"/"Line0"/"Finish"*. В результате настраивается первый цифровой вход устройства *NI USB 6251* и появляется меню прибора *"DAQ Assist Input"*, в котором в опции *"Acquisition Mode"* выбираем опцию *"1 Sample (On Demand)"* и нажимаем *"OK"*. В результате через 3 – 4 с на рабочем поле сконфигурируется виртуальный блок *"DAQ Assist Input"* для приема одного цифрового сигнала за один цикл измерения (рис. 3).

Затем перетаскиваем его мышью в первый кадр последовательности.

6. На рабочем поле правой клавишей мыши вызываем меню и нажимаем *"Express"/"Arithmetic/Comparison"/"Comparison"* и левой клавишей мыши перетаскиваем блок *"Comparison"* в первый кадр последовательности, после чего в появившемся на экране меню настраиваем условие *">1"* и жмем *"OK"*. В результате создается блок сравнения, основная функция которого – распознавание логического цифрового сигнала напряжения величиной 5 В.

7. Соединяем между собой выход *"Data"* виртуального прибора *"DAQ Assist Input"* со входом *"Operand 1"* прибора *"Comparison"* (рис. 4).

8. В меню правой клавиши мыши нажимаем *"Express"/"Execution Control"/"While Loop"* и обводим мышью область, в которой находятся соединенные между собой приборы *"DAQ Assist Input"* и *"Comparison"*. В результате создается круговой цикл. Далее удаляем в цикле контрольную кнопку *"Stop – True or False"* и соединяем выход *"Result"* прибора *"Comparison"* с красным индикатором *"Stop"*.

В результате вышеописанных действий мы создаем первый цикл алгоритма автоматического регулирования параметров процесса сварки (рис. 5).

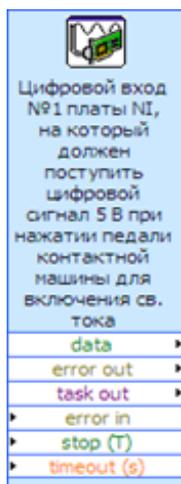


Рисунок 3 –
Виртуальный прибор для приема цифрового сигнала 5 В при нажатии педали контактной машины

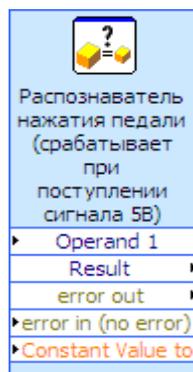


Рисунок 4 –
Виртуальный прибор для распознавания цифрового сигнала 5 В при нажатии сварщиком педали

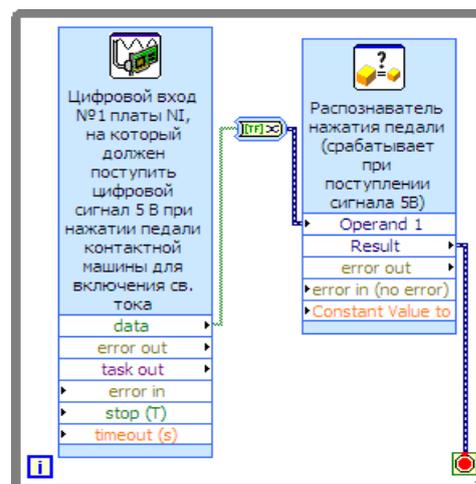


Рисунок 5 – Цикл, запускающий всю систему автоматического регулирования при нажатии педали контактной машины

Его работа описывается следующим образом: при нажатии кнопки "ПУСК" для запуска программы автоматического регулирования программная среда ожидает момента поступления на цифровой вход данного цикла цифрового сигнала величиной 5 В, который должен поступить на данный вход с цифрового выхода платы NI USB 6251 при нажатии сварщиком педали контактной машины и срабатывании электромагнитного реле (напряжение срабатывания реле до 24 В). Как только цифровой сигнал 5 В поступает на данный цикл, то за программное время 1 нс цикл выключается и начинается следующий цикл.

9. Для создания второго цикла, который должен формировать аналоговый сигнал напряжения, пропорциональный величине сварочного тока на первом участке кривой, и отправлять его на аналоговый выход платы NI USB 6251 и далее на регулятор цикла сварки, необходимо во втором кадре последовательности создать виртуальный прибор выработки аналогового сигнала одним из двух аналоговых выходов платы NI USB 6251. Для этого на рабочем поле во втором кадре в меню правой клавиши мыши нажимаем "Functions"/"Express". В появившемся окне виртуальных приборов перетаскиваем левой клавишей мыши на рабочее поле прибор "DAQ Assist". После инициализации прибора появляется его меню "Creat New Express Task". Нажимаем "Generate Signals"/"Analog Output"/"Voltage"/"a₁₀"/ "Finish". В результате настраивается первый аналоговый выход a₁₀ устройства NI и появляется меню прибора "DAQ Assist Output", в котором в опции "Generation Mode" выбираем опцию "N Samples" и нажимаем "OK". В

результате через 3 – 4 с на рабочем поле сконфигурируется виртуальный блок *"DAQ Assist Output"* для генерации одного аналогового сигнала напряжения, пропорционального величине сварочного тока, за один цикл измерения (рис. 6).

10. Сигнал напряжения, пропорционального сварочному току на первом участке, задаем координатно, т.е. в меню правой клавиши мыши нажимаем *"Express"/"Input"* и перетягиваем левой клавишей мыши блок *"Sim Arb Sig"* на рабочее поле. После инициализации данного блока появляется его меню, в котором по координатам задаем уровень напряжения, пропорционального сварочному току на первом участке кривой, например, постоянное напряжение амплитудой *0,065 В*:

На рисунке 7 изображен виртуальный прибор, координатно задающий аналоговое напряжение, пропорциональное сварочному току на первом участке импульса при его ступенчатом задании.

11. Затем соединяем выход *"Signal"* виртуального прибора *"Sim Arb Sig"* с входом *"Data"* прибора *"DAQ Assist Output"*.

12. В меню правой клавиши мыши нажимаем *"Express"/"Execution Control"/"While Loop"* и обводим мышью область, в которой находятся соединенные между собой приборы *"DAQ Assist Output"* и *"Sim Arb Sig"*. В результате создается круговой цикл. Далее удаляем в цикле контрольную кнопку *"Stop – True or False"*, нажимаем в меню правой клавиши мыши *"Express"/"Execution Control"* и перетаскиваем на рабочее поле блок *"Elapsed Time"* и после его инициализации задаем в опции *"Time Target"* задержку до начала следующего цикла, равную *0,0001 с*, а выход *"Time has Elapsed"* соединяем с красным индикатором *"Stop"*.

В результате вышеописанных действий мы создали второй цикл координатного задания величины напряжения, пропорционального сварочному току на первом участке импульса при его ступенчатом задании (рис. 8).

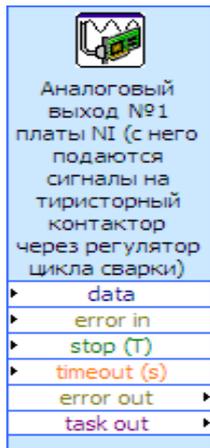


Рисунок 6 – Виртуальный прибор для генерации сигнала напряжения

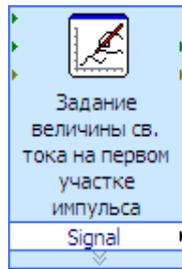


Рисунок 7 – Виртуальный прибор, задающий величину сварочного тока

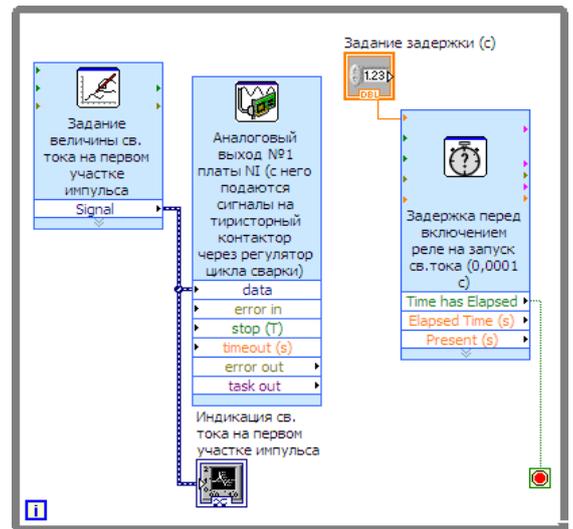


Рисунок 8 – Цикл координатного задания величины напряжения, пропорционального сварочному току на первом участке

Его работа описывается следующим образом: после нажатия педали контактной машины с одновременным запуском программы автоматического регулирования через время, равное 1 нс , запускается второй цикл, задающий величину напряжения, пропорционального сварочному току на первом участке импульса, которое за время $0,01 \text{ с}$ поступает на регулятор цикла сварки и далее на блок поджига тиристоров. Общая продолжительность второго цикла составляет $0,01 \text{ с}$.

13. Для создания третьего цикла, который должен включать первое электромагнитное реле, отвечающее за пуск сварочного тока, необходимо в третьем кадре последовательности создать виртуальный прибор выработки цифрового сигнала одним из 24 цифровых входов/выходов платы NI USB 6251. Для этого на рабочем поле во втором кадре в меню правой клавиши мыши нажимаем "Functions"/"Express". В появившемся окне виртуальных приборов перетаскиваем левой клавишей мыши на рабочее поле прибор "DAQ Assist". После инициализации прибора появляется его меню "Creat New Express Task". Нажимаем "Generate Signals"/"Digital Output"/"Port0"/"Line6,7"/"Finish". В результате настраиваются два цифровых выхода устройства NI и появляется меню прибора "DAQ Assist Output", в котором в опции "Generation Mode" выбираем опцию "1 Sample (On Demand)" и нажимаем "OK". В результате через 3–4 с на рабочем поле сконфигурируется виртуальный блок "DAQ Assist Output" для генерации двух цифровых сигналов за один цикл измерения.

14. В меню правой клавиши мыши нажимаем "Programming"/"Array" и перетаскиваем блок "Build array" на рабочее поле. Затем нажимаем "Express"/"Arithmetic/Comparison"/"Boolean" и перетаскиваем на это же поле блоки "True Constant" и "False Constant". Затем соединяем выходы блоков "True Constant" и "False Constant" с входами блока "Build array", а вывод

блока *"Build array"* – со входом виртуального прибора *"DAQ Assist Output"*. В результате мы создаем вариативную область для логических условий: *"True"* – подача цифрового сигнала на первый созданный цифровой выход платы *NI USB 6251* и дальнейшее включение электромагнитного реле, ответственного за включения сварочного тока; *"False"* – подача цифрового сигнала на второй цифровой выход платы *NI USB 6251* и дальнейшее включение электромагнитного реле, ответственного за выключение сварочного тока.

15. В меню правой клавиши мыши нажимаем *"Express"/"Execution Control"/"While Loop"* и обводим мышью область, в которой находятся соединенные между собой приборы *"DAQ Assist Output"* и *"Build array"*. В результате создается круговой цикл. Далее удаляем в цикле контрольную кнопку *"Stop – True or False"*, нажимаем в меню правой клавиши мыши *"Express"/"Execution Control"* и перетаскиваем на рабочее поле блок *"Elapsed Time"* и после его инициализации задаем в опции *"Time Target"* задержку до начала следующего цикла, равную длительности предварительного сжатия электродов согласно циклограмме процесса сварки, а выход *"Time has Elapsed"* соединяем с красным индикатором *"Stop"*.

В результате вышеописанных действий мы создаем третий цикл алгоритма автоматического регулирования (рис. 9).

Его работа описывается следующим образом: через 1 нс после срабатывания второго цикла (задание напряжения, пропорционального сварочному току на первом участке импульса) запускается третий цикл, который подает цифровой сигнал на первое электромагнитное реле (напряжение срабатывания до 5 В) и оно замыканием своего контакта за время $0,005 \text{ с}$ отправляет сигнал на регулятор цикла сварки (а он, в свою очередь, за время $0,01 \text{ с}$ – на блок поджига тиристоров), в результате чего включается сварочный ток за время не более $0,015 \text{ с}$. Общая продолжительность третьего цикла составляет $0,015 \text{ с} +$ время, равное длительности предварительного сжатия электродов в периодах (задается на регуляторе цикла сварки и в программе).

16. Для создания четвертого цикла, который должен регистрировать и обрабатывать аналоговые сигналы процесса сварки на первом участке кривой сварочного тока, а также сравнивать фактические значения выделившейся в межэлектродной зоне энергии с требуемыми, необходимо в четвертом кадре последовательности создать виртуальный прибор регистрации двух аналоговых сигналов аналоговыми входами платы *NI USB 6251*. Для этого на рабочем поле в четвертом кадре в меню правой клавиши мыши нажимаем *"Functions"/"Express"*. В появившемся окне виртуальных приборов перетаскиваем левой клавишей мыши на рабочее поле прибор *"DAQ Assist"*. После инициализации прибора появляется его меню *"Creat New Express Task"*. Нажимаем *"Acquire Signals"/"Analog Input"/"Voltage"/"a_{i0}, a_{i1}"/"Finish"*. В результате настраиваются два аналоговых входа (a_{i0} и a_{i1}) устройства *NI* и появляется меню прибора *"DAQ Assist Input"*, в котором в опции *"Acquisition*

"Mode" выбираем опцию "Continuous Samples", в опции "Samples to Read" – 10, в опции "Rate (Hz)" – 1000, и нажимаем "OK". В результате через 3 – 4 с на рабочем поле сконфигурируется виртуальный блок "DAQ Assist Input" для приема двух аналоговых сигналов напряжения с датчиков за один цикл измерения (рис. 10).

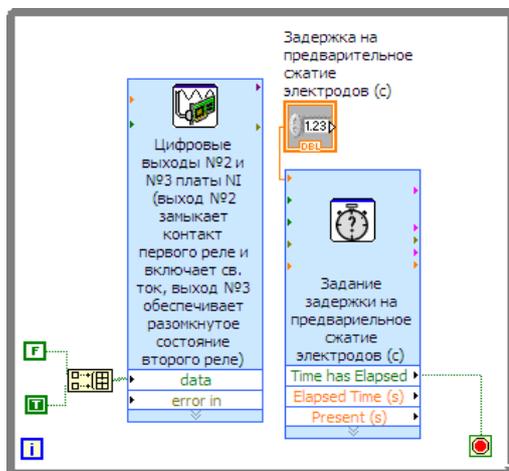


Рисунок 9 – Цикл включения сварочного тока

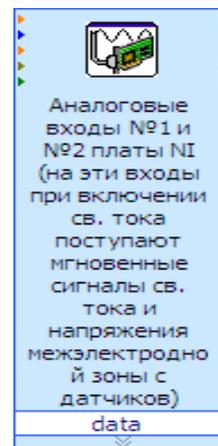


Рисунок 10 – Виртуальный прибор для регистрации двух аналоговых сигналов

Назначение данного оператора в том, что он является виртуальным "приемщиком" мгновенных сигналов сварочного тока I_{CB} (канал a_{i0}) и напряжения межэлектродного промежутка $u_{ЭЭ}$ (a_{i1}) с платы NI USB 6251.

Сигналы с оператора на дальнейшие блоки нужно выводить через разъем "Data" левой клавишей мыши. Все принимаемые сигналы на блок-схеме протекают через единый канал, поэтому от разъема "Data" можно вывести только один канал. Для разделения мгновенных сигналов сварочного тока I_{CB} и напряжения межэлектродной зоны $u_{ЭЭ}$ необходимо использовать оператор деления сигнала. Для этого на рабочем поле необходимо правой клавишей мыши нажать "Express"/"Signal Manipulation" и перетянуть на поле блок – делитель сигнала "Split Signals". Этот блок растягиваем на 2 сигнала.

17. Для того, чтобы осуществить индикацию двух отдельных сигналов, на панели инструментов нажимаем "Window"/"Show Front Panel". В появившемся клеточном поле правой клавишей мыши вызываем "Controls"/"Graph Indicators". Затем перетаскиваем блок "Graph" на клеточное поле. Эту операцию проделываем 2 раза, т.к. принимаем 2 сигнала – ток и напряжение. Подписываем графики, соответственно, для сварочного тока I_{CB} и для напряжения $u_{ЭЭ}$.

Затем снова нажимаем "Window"/"Show Block Panel". На рабочем поле появляются 2 блока "Мгновенные сигналы напряжения, пропорционального сварочному току U_{CB} , В" и "Мгновенные сигналы напряжения межэлектродной зоны $u_{ЭЭ}$, В". Затем соединяем общий канал сигналов блока "DAQ Assist Input" с разъема "Data" с блоком "Split Signals", а уже с него выводим 2 сигнала по отдельности на блоки "Мгновенные сигналы

напряжения, пропорционального сварочному току U_{CB}, B и "Мгновенные сигналы напряжения межэлектродной зоны $u_{ЭЭ}, B$ " (рис. 11).

18. Принимаемые блоком "DAQ Assist Input" мгновенные сигналы напряжения межэлектродной зоны и напряжения, пропорционального сварочному току, необходимо преобразовать в действующие. Для этого нажимаем "Functions"/"Signal Processing"/"Wfm Measure" и перетаскиваем блок "Average DC/RMS". В контекстном меню блока выбираем "averaging type"/"Linear" и "averaging time"/"1/x, где $x=1000$ ". Блок "1/x" находим в "Functions"/"Mathematics"/"Numeric". Затем на блоке "1/x" выбираем "Creat"/"Constant"/"1000". Делаем это для того, чтобы задать продолжительность одного "сэмпла" (миниинтервал приема сигнала). $1 \text{ сэмпл} = 0,001 \text{ с}$.

19. С целью тарировки датчика тока сигнал умножаем на 5050.

Для этого нажимаем

"Functions"/"Mathematics"/"Numeric"/"×"/"Creat"/"Constant"/"5050"

(рис. 12).

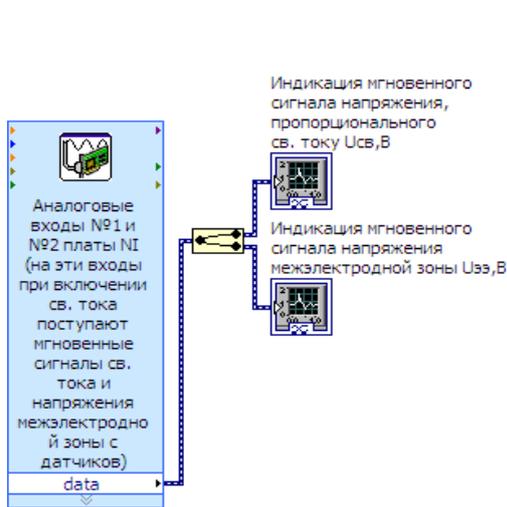


Рисунок 11 – Разделение сигналов с датчиков тока и напряжения

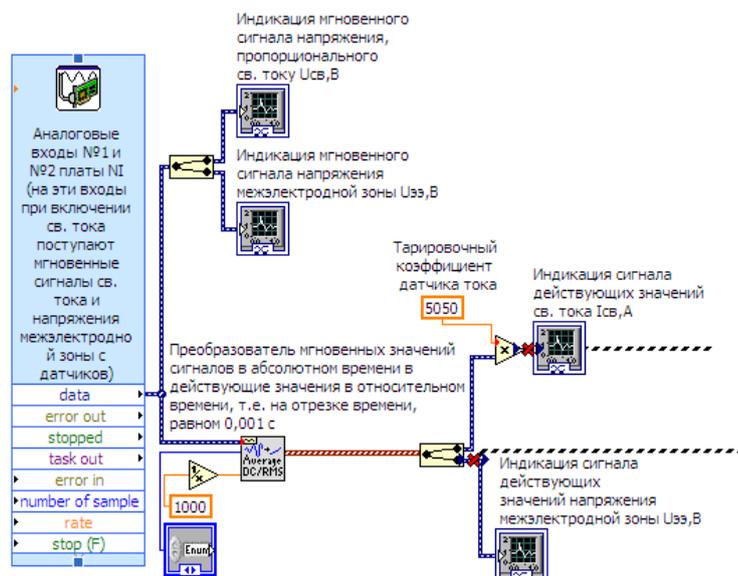


Рисунок 12 – Преобразование мгновенных сигналов в кривые их действующих значений

20. Полученную блок-диаграмму дополняем оператором деления значений кривой действующих напряжений на значения кривой действующих сварочных токов, чтобы получить график изменения сопротивления межэлектродной зоны во времени. Умножаем на 10^6 , чтобы перевести Ом в мкОм .

21. В полученную блок-диаграмму включаем оператор возведения сигнала в квадрат " X^2 " и оператор умножения " \times ", который перемножает квадратичный сигнал тока на сигнал сопротивления по формуле $P_{ЭЭ}(\tau_{CB}) = I_{CB}(\tau_{CB})^2 \times R_{ЭЭ}(\tau_{CB})$, в результате чего рассчитывается полная мощность зоны сварки $P_{ЭЭ}$. Сигнал сопротивления делим на 10^6 , чтобы перевести мкОм в Ом (рис. 13).

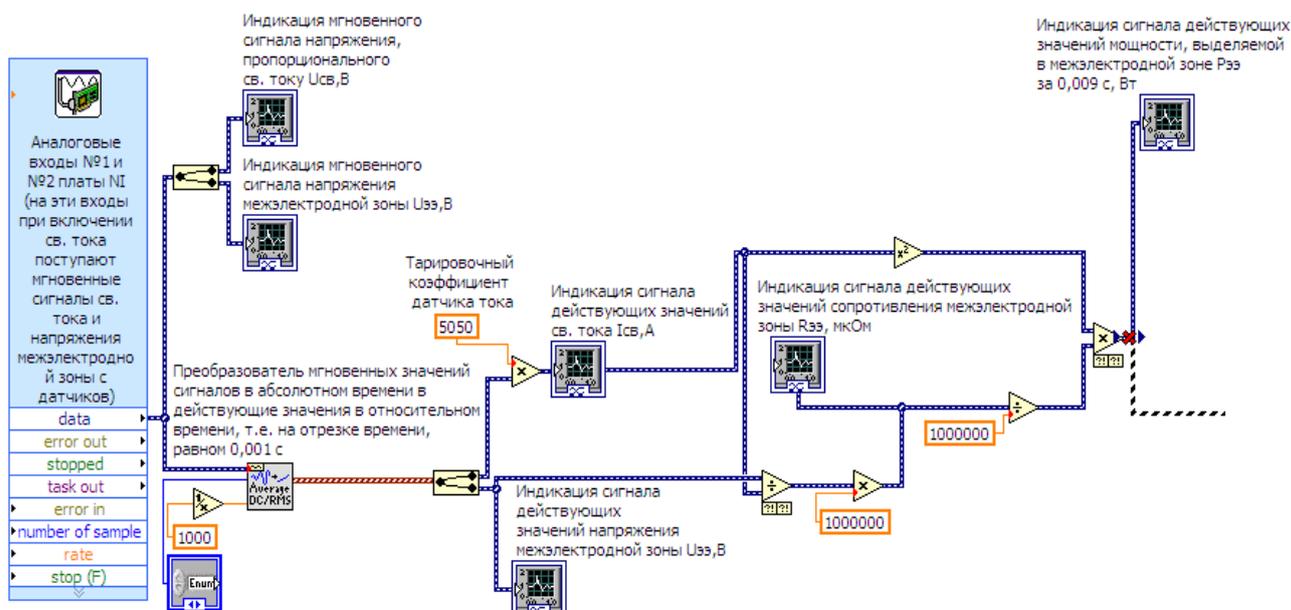


Рисунок 13 – Расчет кривых действующих значений сопротивления и мощности межэлектродной зоны

22. В диаграмму добавляем оператор интегрирования "*INTEGRAL (Sum[Xdt])*", в котором сигнал мощности интегрируется по длительности десяти сэмплов (деяти интервалов по $0,001$ с, т.е. каждые $0,009$ с, соответственно) при протекании сварочного тока и строится график изменения полной энергии зоны сварки $Q_{ЭЭ}$.

23. Для выделения пиков энергии на каждом из временных интервалов в $0,009$ с необходимо ввести специальный оператор. Для этого в меню правой клавиши мыши нажимаем "*Express*" / "*Signal Analysis*" и перетаскиваем оператор "*Spectral*" на рабочее поле, после чего вывод "*Result*" блока "*INTEGRAL (Sum[Xdt])*" соединяем с входом "*Signals*" блока "*Spectral*". После этого в меню блока "*Spectral*" включаем опцию "*Maximum Peak*" (рис. 14).

24. Для того, чтобы цикл просчитывал полную выделившуюся в зоне сварки энергию за конкретное время, необходимо добавить в алгоритм расчета блок аккумуляции значений энергии, но этот блок относится к категории "*Real Time*", поэтому для его добавления необходимо создать проект и добавить в проект всю нашу кадровую последовательность циклов.

Для создания проекта на главной панели *LabVIEW 2010* нажимаем "*File*" / "*New Project*" / "*Add*", после чего проект создан. После этого сохраняем файл кадровой последовательности и проект, выходим из *LabVIEW 2010* и перезапускаем проект. Затем в проекте открываем файл кадровой последовательности и только тогда в него можно добавить любой из модулей категории "*Real Time*".

Поэтому в меню правой клавиши мыши нажимаем "*Real Time*" / "*Function Blocks*" / "*Accumulate-Collecte*" и перетаскиваем мышью блок "*Accumulate*" на рабочее поле (рис. 15).

Затем соединяем выход *"Positive Peak"* блока *"Spectral"* с входом *"Input"* блока *"Accumulate"*.

25. Выход *"Accumulation"* блока *"Accumulate"* соединяем с оператором сравнения для выполнения условия достижения энергией, выделяемой в зоне сварки, требуемого значения. Для вызова оператора сравнения в меню правой клавиши мыши нажимаем *"Express"/"Arithmetic/Comparison"/"Comparison"/"Greater or =?"*. В этом же операторе задаем нормированное значение энергии (в джоулях), которая должна выделиться в зоне сварки на первом участке кривой сварочного тока.

26. В меню правой клавиши мыши нажимаем *"Express"/"Execution Control"/"While Loop"* и обводим мышью область, в которой находятся соединенные между элементы четвертого цикла кадровой последовательности процесса регулирования. В результате создается круговой цикл.

В процессе сварки может возникнуть ситуация, когда сварщик по ошибке настроит на регуляторе цикла сварки минимальную длительность протекания сварочного тока (в периодах), т.е. значительно меньшую, чем ориентировочно требуется для сварки. Чтобы в данной ситуации весь алгоритм регулирования в любом случае экстренно завершился, дабы избежать ситуации, когда после выключения сварочного тока регулятором программа продолжает регистрировать показания датчиков на уровне помех (а это недопустимо, т.к. займет целые часы по времени):

- дополняем цикл логическими условиями *"ИЛИ"* (*"Express"/"Arithmetic/Comparison"/"Boolean"/"Or"*);

- создаем локальную переменную для расчета энергии. Для этого в меню правой клавиши мыши при ее нажатии на операторе сравнения выбираем *"Create"/"Shared Variable Node"/"New Shared Variable"/"Accumulation"*);

- вводим таймер категории *"Real Time"* для задания фиксированного времени экстренного завершения цикла и всей программы. Для этого в меню правой клавиши мыши нажимаем *"Real Time"/"Function Blocks"/"Timer"* и перетаскиваем мышью блок *"Elapsed Timer"* на рабочее поле. На выходе таймера создаем числовой индикатор времени, оператор сравнения с числом, например, *1000 мс*, и выход оператора сравнения соединяем с логическим оператором *"ИЛИ"*.

- создаем локальную переменную для отсчета фактического времени цикла (для экстренного завершения программы). Для этого в меню правой клавиши мыши при ее нажатии на операторе сравнения выбираем *"Create"/"Shared Variable Node"/"New Shared Variable"/"Elapsed Time"*).

- удаляем в цикле контрольную кнопку *"Stop – True or False"* и выход логического оператора *"ИЛИ"* соединяем с красным индикатором *"Stop"*.

27. Для регистрации времени фактического завершения четвертого цикла при отсутствии вышеописанной экстренной ситуации вводим дополнительный таймер категории *"Real Time"* (без функции обнуления). На

выходе данного таймера создаем поле числовой индикации фактического времени отработки четвертого цикла кадровой последовательности (таймер в мс) (рис. 16).

28. Для нормальной работы всех последующих циклов вводим логическое условие обнуления блока приема сигналов "DAQ Assist Input", блока аккумуляции энергии "Accumulate" и таймера экстренного завершения всей программы "Elapsed Timer" (рис. 17).

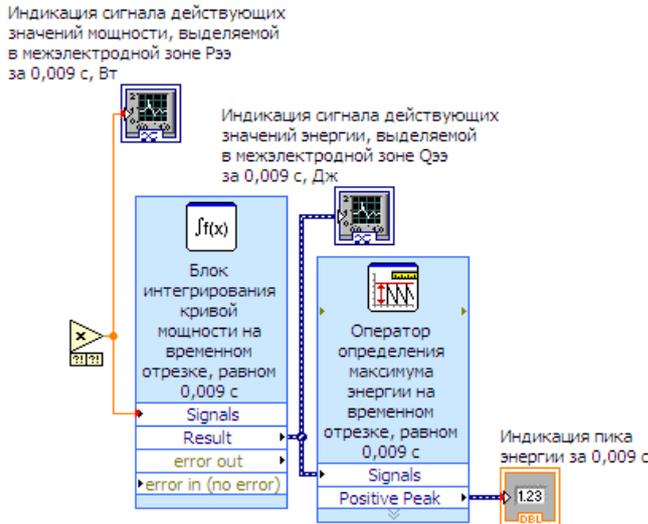


Рисунок 14 – Расчет кривых действующих значений энергии, выделяемой в межэлектродной зоне, а также пиковых значений энергии за каждые 0,009 с

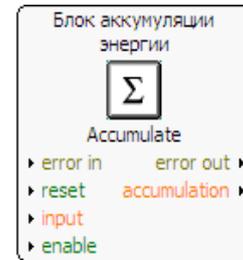


Рисунок 15 – Блок аккумуляции энергии

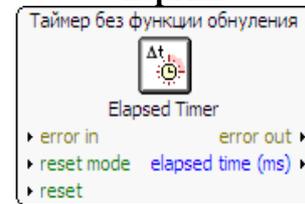


Рисунок 16 – Таймер фактической длительности цикла (до момента срабатывания условия по достижению энергией зоны сварки требуемого значения)

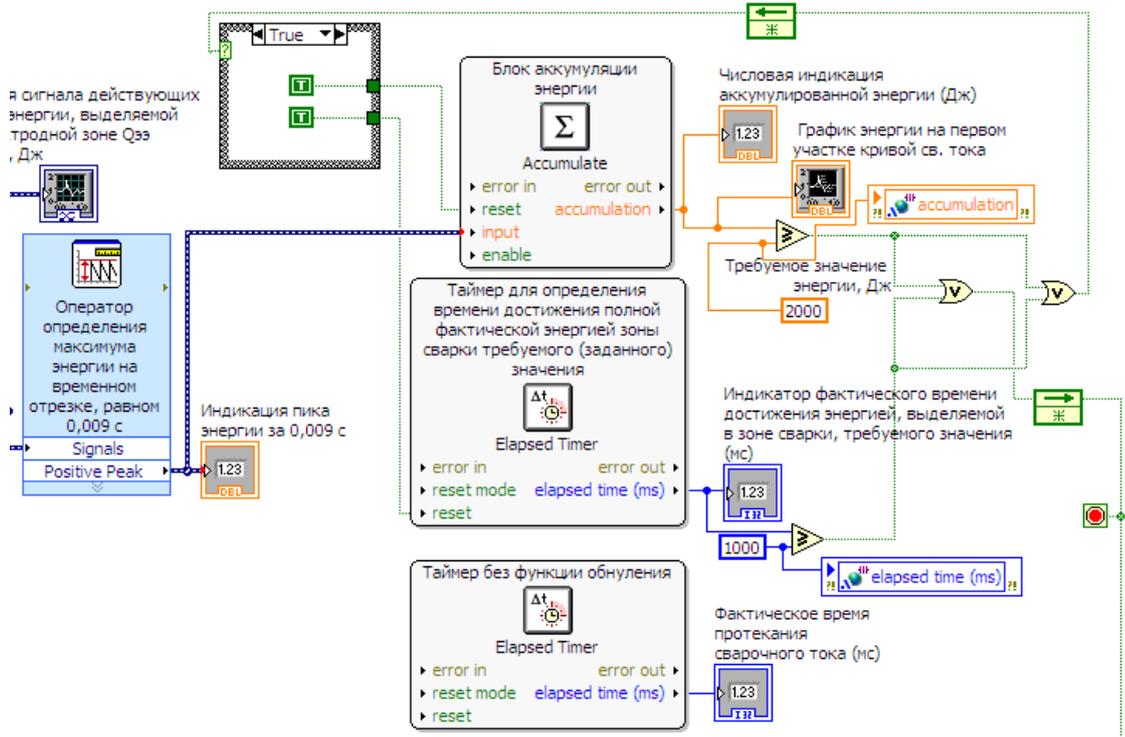


Рисунок 17 – Блоки алгоритма экстренного завершения цикла и всей программы автоматического регулирования процесса сварки

В результате вышеописанных действий мы создали четвертый цикл алгоритма автоматического регулирования (рис. 18).

Его работа описывается следующим образом: через заданное время на предварительное сжатие электродов после срабатывания третьего цикла (включение сварочного тока) запускается четвертый цикл, который начинает регистрировать сигналы с датчиков сварочного тока и напряжения межэлектродной зоны точками (*сэмплами*) в количестве *10 шт.*, т.е. на девяти отрезках времени, равных *0,001 с*. Одновременно данные сигналы обрабатываются с получением пиковых значений энергии за каждые *0,009 с*, их аккумуляцией и сравнением с заданным расчетным значением.

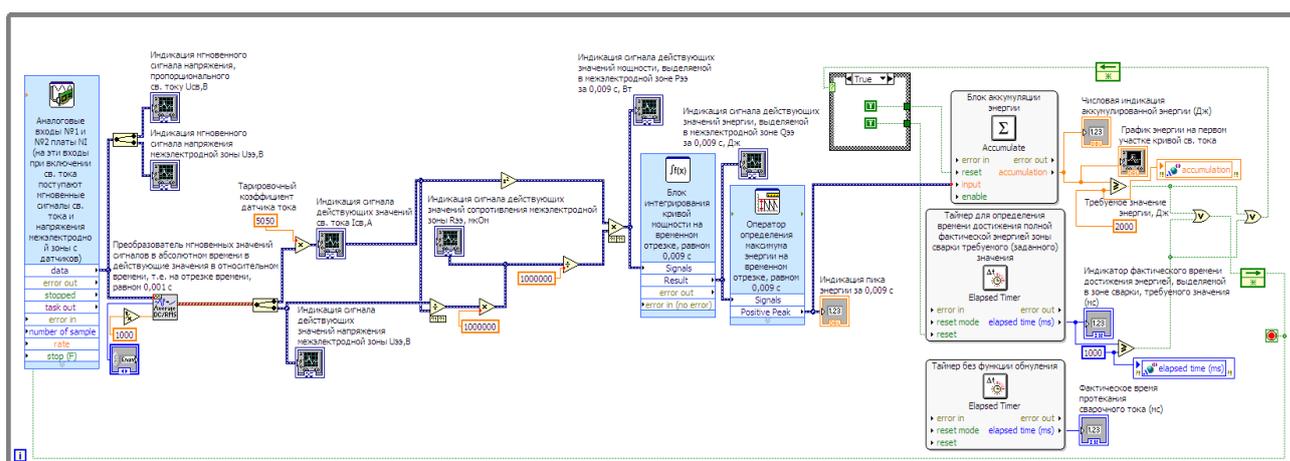


Рисунок 18 – Цикл расчета и сравнения энергии, выделяемой в зоне сварки на первом участке импульса сварочного тока при его ступенчатом задании

В случае достижения энергией, выделяемой в зоне сварки, заданного значения происходит четыре одновременных действия:

1. четвертый цикл (цикл расчета и сравнения энергии, выделяемой в зоне сварки) завершается за данное фактическое время;
2. аналоговые входы платы *NI USB 6251* обнуляются;
3. блок аккумуляции энергии обнуляется;
4. таймер длительности цикла обнуляется.

Следующий цикл в данном случае начинается через *1 нс*.

В случае ошибки сварщика, т.е. задании недостаточной длительности протекания сварочного тока, контактная машина через установленное сварщиком время выключит ток, а четвертый цикл завершится ровно через установленное нами время, в данном случае – через *1 с* (если ориентировочное время сварки составляет менее *0,9 с*).

28. После четвертого цикла через программное время *1 нс* стартует пятый цикл, задающий уровень напряжения, пропорционального сварочному току на втором участке его импульса. Принцип его создания такой же, как в п. 10. Общая длительность задания сигнала напряжения и всего цикла составляет *0,01 с + 0,0001 с* (рис. 19).

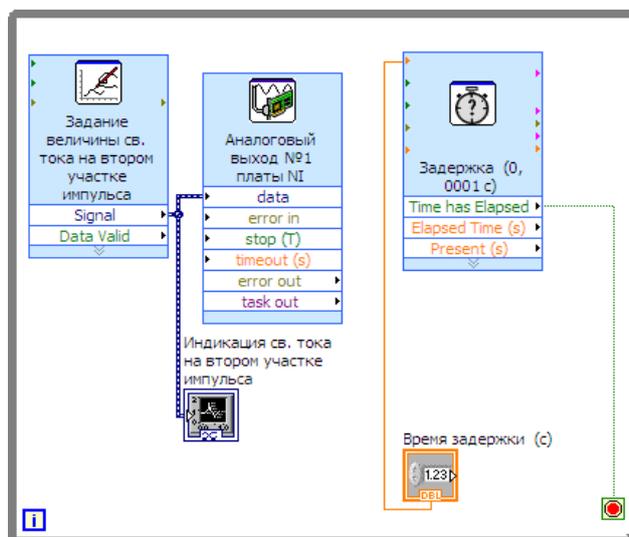


Рисунок 19 – Цикл координатного задания величины напряжения, пропорционального сварочному току на втором участке при его ступенчатом задании

29. Одновременно с пятым циклом стартует и шестой цикл, рассчитывающий энергию, выделяемую в зоне сварки на втором участке импульса сварочного тока по аналогии с п. 27.

В случае достижения энергией, выделяемой в зоне сварки, заданного значения происходит четыре одновременных действия:

1. шестой цикл (цикл расчета и сравнения энергии, выделяемой в зоне сварки) завершается за данное фактическое время;
2. аналоговые входы платы *NI USB 6251* обнуляются;
3. блок аккумуляции энергии обнуляется;
4. таймер длительности цикла обнуляется.

Следующий цикл в данном случае начинается через 1 мс .

В случае ошибки сварщика, т.е. задании недостаточной длительности протекания сварочного тока, контактная машина через установленное сварщиком время выключит ток, а шестой цикл завершится ровно через установленное нами время, в данном случае – через 1 с (если ориентировочное время сварки составляет менее $0,9 \text{ с}$) (рис. 20).

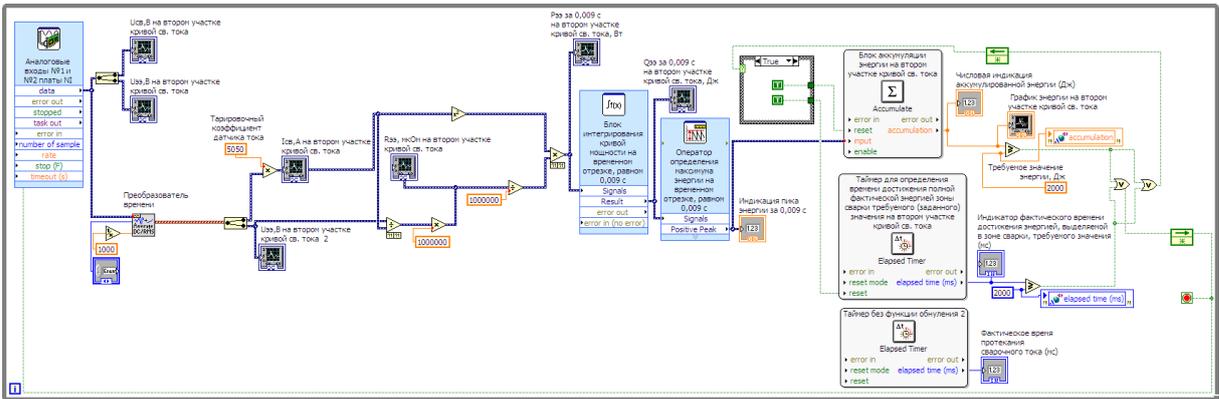


Рисунок 20 – Цикл расчета и сравнения энергии, выделяемой в зоне сварки на втором участке импульса сварочного тока при его ступенчатом задании

30. Далее следует седьмой цикл, задающий уровень напряжения, пропорционального сварочному току на третьем участке его импульса. Принцип его создания такой же, как в п. 10. Общая длительность задания сигнала напряжения и всего цикла составляет $0,01\text{ с} + 0,0001\text{ с}$ (рис. 21).

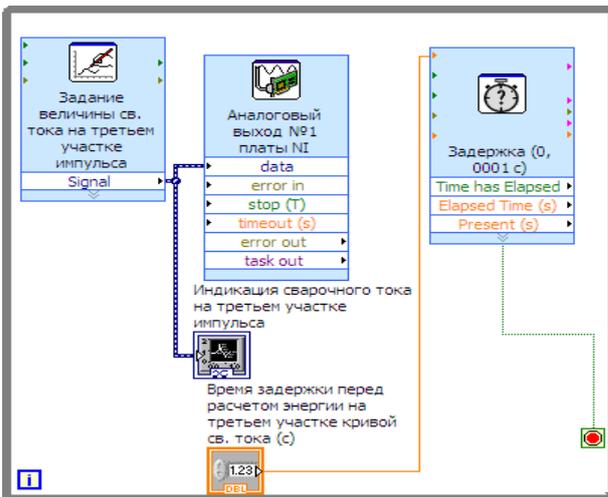


Рисунок 21 – Цикл задания величины напряжения, пропорционального сварочному току на третьем участке

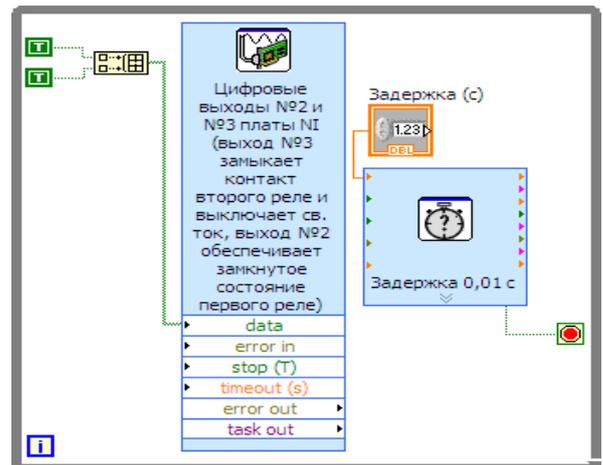


Рисунок 23 – Цикл выключения сварочного тока

31. Одновременно с седьмым циклом стартует восьмой цикл, рассчитывающий энергию, выделяемую в зоне сварки на третьем участке кривой сварочного тока по аналогии с п. 27.

В случае достижения энергией, выделяемой в зоне сварки, заданного значения происходит четыре одновременных действия:

1. восьмой цикл (цикл расчета и сравнения энергии, выделяемой в зоне сварки) завершается за данное фактическое время;
2. аналоговые входы платы *NI USB 6251* обнуляются;
3. блок аккумуляции энергии обнуляется;
4. таймер длительности цикла обнуляется.

Следующий цикл в данном случае начинается через 1 мс .

В случае ошибки сварщика, т.е. задании недостаточной длительности протекания сварочного тока, контактная машина через установленное сварщиком время выключит ток, а шестой цикл завершится ровно через установленное нами время, в данном случае – через 1 с (если ориентировочное время сварки составляет менее $0,9\text{ с}$) (рис. 22).

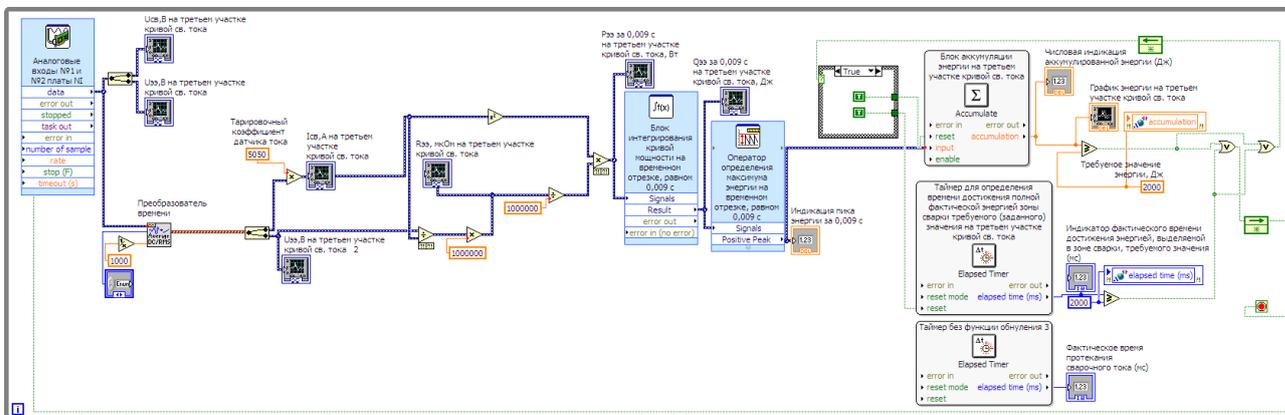


Рисунок 22 – Цикл расчета и сравнения энергии, выделяемой в зоне сварки на третьем участке кривой сварочного тока при его ступенчатом задании

32. Девятый цикл создается по аналогии с п. 15, но здесь уже срабатывает второе нормально замкнутое электромагнитное реле (напряжение срабатывания до 5 В), размыканием своего контакта выключающее сварочный ток. Следующий цикл начинается через $0,01\text{ с}$ (рис. 23).

32. Десятый цикл стартует одновременно с девятым по аналогии с п. 29 (расчет энергии), но он фиксирован по времени ($0,02\text{ с}$) и просто регистрирует энергию, которая выделяется в последнем периоде протекания сварочного тока, т.е. в неуправляемой зоне последнего периода сварочного тока после его выключения (рис. 24).

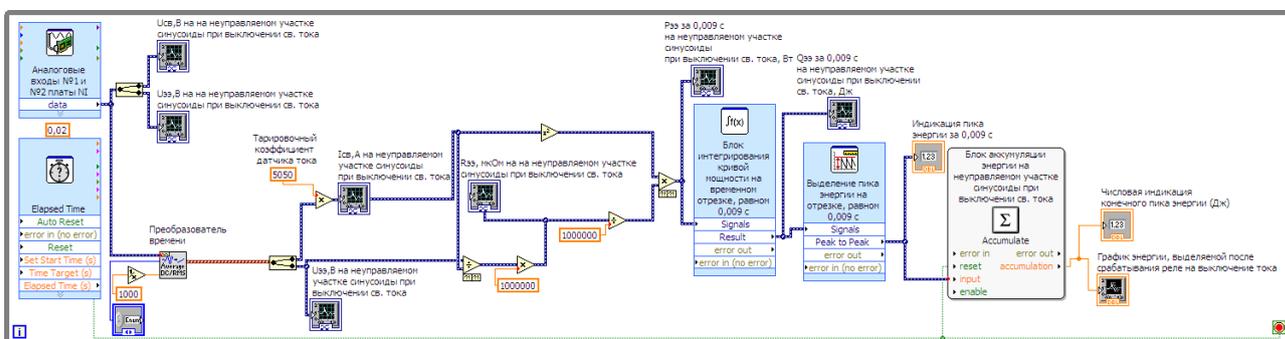


Рисунок 24 – Цикл расчета энергии, выделяемой в зоне сварки на неуправляемом участке синусоиды последнего периода тока после его выключения

33. Одиннадцатый цикл аналогичен циклу из п. 15, но он сбрасывает реле в исходное состояние по логическому условию "ЛОЖЬ" за время не более $0,01$ с (рис. 25).

34. Тринадцатый цикл таймером программно задает паузу до готовности программы к следующему циклу сварки (рис. 26).

Непосредственно перед нажатием педали сварочной машины в пусковом файле *LabVIEW 2010* на ЭВМ нажимается кнопка "ПУСК" и программа ожидает нажатия педали сварщиком.

При нажатии педали последовательность выполняемых моделью операций выглядит следующим образом:

1. Старт первого цикла: распознавание программой нажатия педали сварщиком. Длительность по времени: $0,005$ с.

2. Старт второго цикла: задание напряжения, пропорционального требуемому сварочному току на первом участке его импульса. Длительность по времени: $0,01$ с (ограничивается быстродействием срабатывания регулятора цикла сварки).

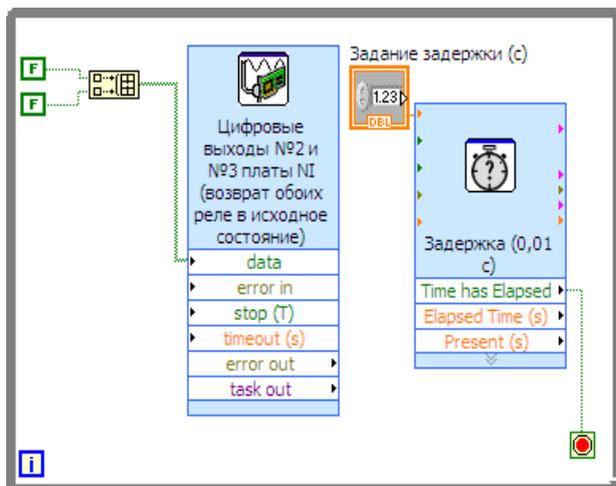


Рисунок 25 – Цикл сброса обоих реле в исходное положение



Рисунок 26 – Цикл паузы до готовности программы к следующему циклу сварки

3. Старт третьего цикла: включения сварочного тока. Длительность по времени: $0,015$ с (ограничивается быстродействием срабатывания реле и регулятора цикла сварки) + время, равное длительности предварительного сжатия электродов в периодах.

4. Старт четвертого цикла: расчет и проверка достижения энергией, выделяемой в зоне сварки, требуемого значения на первом участке импульса сварочного тока. Длительность по времени: по факту в зависимости от требуемого значения энергии (переход к следующему циклу за время, равное 1 мс).

5. Одновременный старт пятого и шестого циклов: пятый цикл – задание напряжения, пропорционального требуемому сварочному току на

втором участке его импульса. Длительность по времени: $0,01$ с (ограничивается быстродействием срабатывания регулятора цикла сварки); шестой цикл – расчет и проверка достижения энергией, выделяемой в зоне сварки, требуемого значения на втором участке импульса сварочного тока. Длительность по времени: по факту в зависимости от требуемого значения энергии (переход к следующему циклу за время, равное 1 нс).

6. Одновременный старт седьмого и восьмого циклов: седьмой цикл – задание напряжения, пропорционального требуемому сварочному току на третьем участке его импульса. Длительность по времени: $0,01$ с (ограничивается быстродействием срабатывания регулятора цикла сварки); восьмой цикл – расчет и проверка достижения энергией, выделяемой в зоне сварки, требуемого значения на третьем участке импульса сварочного тока. Длительность по времени: по факту в зависимости от требуемого значения энергии (переход к следующему циклу за время, равное 1 нс).

7. Старт девятого цикла: выключение сварочного тока. Длительность по времени: $0,015$ с (ограничивается быстродействием срабатывания реле и регулятора цикла сварки).

8. Старт десятого цикла: расчет энергии, выделяемой в зоне сварки после выключения сварочного тока, т.е. на неуправляемом участке синусоиды сварочного тока в последнем периоде после его выключения. Длительность по времени: $0,02$ с (переход к следующему циклу за время, равное 1 нс).

9. Старт одиннадцатого цикла: сброс обоих реле в исходное положение. Длительность по времени: $0,005$ с (ограничивается быстродействием срабатывания реле).

10. Старт двенадцатого цикла: задание паузы (в секундах) до готовности программы к следующему циклу сварки.

Значения для задания уровней тока представлены в табл. 1.

4.6. Подключить экспериментальную установку к контактной машине *MT-1617* и сварить нескольких пар деталей из низкоуглеродистой стали толщиной $1,5$ мм с внешним заданием ступенчатого импульса сварочного тока, требуемого тепловложения в зону сварки на каждой из ступеней его задания, а также автоматическим выключением сварочного тока по достижением суммарного тепловложения в зону сварки требуемого значения.

Таблица 1 – Диапазон управляющих напряжений для регулятора цикла сварки *PKC-801* и контактной машины *MT-1617* (коэффициент усиления сигналов $K=11,3$)

Управляющее напряжение, В	Фактический сварочный ток
0	$I_{CBMAX} (15-16 \text{ кА})$
0,025	$0,85 \times I_{CBMAX}$
0,03	$0,83 \times I_{CBMAX}$
0,035	$0,8 \times I_{CBMAX}$
0,04	$0,64 \times I_{CBMAX}$
0,045	$0,62 \times I_{CBMAX}$
0,05	$0,5 \times I_{CBMAX}$
0,055	$0,48 \times I_{CBMAX}$
0,06	$0,43 \times I_{CBMAX}$
0,065	$0,41 \times I_{CBMAX}$

4. Контрольные вопросы.

- 4.1. Принцип работы регулятора контактной сварки.
- 4.2. Принцип работы устройства сбора данных *NI USB 6251*.
- 4.3. Принцип работы среды программирования *LabVIEW 2010*.
- 4.4. Описание экспериментальной установки для реализации процесса внешнего управления работой регулятора цикла сварки.
- 4.5. Сущность работы, основные блоки и операторы имитационной модели системы внешнего управления регулятором цикла сварки контактной машины.
- 4.6. Как задается ступенчатый импульс сварочного тока в системе управления?
- 4.7. Как задать требуемые значения тепловложения в системе управления?
- 4.8. Как определить суммарную фактическую длительность протекания сварочного тока при его автоматическом выключении системой управления?

5. Литература.

- 5.1. Березиенко, В. П. Технология сварки давлением / В. П. Березиенко, С. Ф. Мельников, С. М. Фурманов. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2009. – 256 с.
- 5.2. Гладков, Э.А. Управление процессами и оборудованием при сварке. / Э.А. Гладков – М.: Издательский центр «Академия», 2006. — 432 с.
- 5.3. Смирнов, В.В. Оборудование для контактной сварки: справ. пособие / В.В. Смирнов. – СПб.: Энергоатомиздат, Санкт-Петербургское отд-ние, 2000. – 736 с.
- 5.4. Поляков, А.Ю. Оптимизация количества энергии, вводимой в зону рельефной сварки пакетных соединений / А.Ю. Поляков, С.М. Фурманов,

В.П. Березиенко, С.И. Лялихов // Вестник Белорусско–Российского университета. – 2012. – № 2. – с. 67–77.

5.5. Тревис, Дж. LABVIEW для всех / Джэффри Тревис: Пер. с англ. Клушин Н.А. – М: ДМК Пресс; Приборкомплект, 2005. – 544 с.