

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Оборудование и технология сварочного производства»

ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ И СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

*Методические рекомендации к практическим занятиям
для студентов специальности 1-54 01 02 «Методы и приборы
контроля качества и диагностики состояния объектов»
дневной и заочной форм обучения*



Могилев 2018

УДК 621.791
ББК 30.61
Т 38

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Оборудование и технология сварочного производства» «14» декабря 2017 г., протокол № 5

Составитель канд. техн. наук А. Ю. Поляков

Рецензент канд. техн. наук, доц. В. В. Кутузов

Методические рекомендации к практическим занятиям по дисциплине «Технология сварки и сварные соединения» предназначены для студентов специальности 1-54 01 02 «Методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов».

Учебно-методическое издание

ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ И СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

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

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 31 экз. Заказ №

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

© ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет», 2018



Содержание

1 Практическое занятие № 1. Определение параметров режима ручной дуговой сварки покрытым плавящимся электродом. Определение структуры свариваемой легированной стали	4
2 Практическое занятие № 2. Определение параметров режима автоматической сварки под флюсом для получения сварного соединения заданного типа	10
3 Практическое занятие № 3. Определение параметров режима механизированной дуговой сварки плавящейся проволокой в среде углекислого газа.....	14
4 Практическое занятие № 4. Расчет параметров режима контактной рельефной сварки	18
5 Практическое занятие № 5. Дефекты сварных соединений, обнаружение дефектов контактной рельефной сварки и анализ причин их возникновения	23
6 Практическое занятие № 6. Расчет рычажных зажимных устройств, применяемых в сборочно-сварочных кондукторах и стендах с целью предотвращения деформаций при сварке	27
7 Практическое занятие № 7. Расчет различных прижимов для сборочно-сварочных приспособлений.....	32
8 Практическое занятие № 8. Внешнее управление регулятором цикла сварки контактной машины в режиме реального времени	36
Список литературы.....	43



1 Практическое занятие № 1. Определение параметров режима ручной дуговой сварки покрытым плавящимся электродом. Определение структуры свариваемой легированной стали

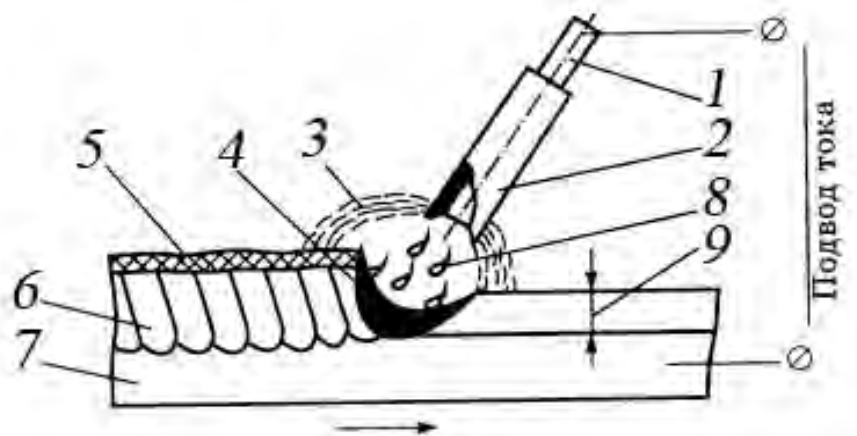
1.1 Общие теоретические сведения

В 1881 г. русский ученый Н. Н. Бенардос предложил частично расплавлять и сваривать металл с помощью электрической дуги, горячей 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 гг. ручная дуговая сварка начинает получать широкое распространение при изготовлении уже достаточно ответственных конструкций – котлов, мостов, судов.

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



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

Рисунок 1.1 – Схема ручной дуговой сварки покрытым плавящимся электродом

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:

- диаметр электрода;
- сила сварочного тока;
- 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*.

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. Швы средней длины сваривают от середины к краям, либо обратноступенчатым способом. Длинные швы однопроходных стыковых и угловых соединений и первый проход многопроходных швов сваривают от середины к концам обратноступенчатым способом, а в соединениях с угловыми швами также от середины к концам обратноступенчатым способом.

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, так и за два и более проходов.



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 наблюдаются худшие механические свойства, поэтому чаще применяется многопроходный способ сварки швов большого сечения.

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, т. к. применение электродов большего диаметра часто затрудняет провар корня шва.

Существует четыре типа электродных покрытий: кислые, основные, рутиловые, целлюлозные.

Рассматриваемым способом сварки получают неразъемные соединения деталей из углеродистых и легированных сталей и сплавов. Возможно использование данного способа сварки при исправлении брака на соединениях из чугунных деталей.

1.2 Порядок проведения занятия

Исходные данные.

Способом ручной дуговой сварки покрытым плавящимся электродом свариваются две пластины стыковым двусторонним швом без разделки кромок (стыковое соединение) (рисунок 1.2). Толщину металла $s = s_1$, длину изделия $L_{изд}$, материал пластин, а также ширину валика e для соответствующего варианта смотрите в таблице 1.1.

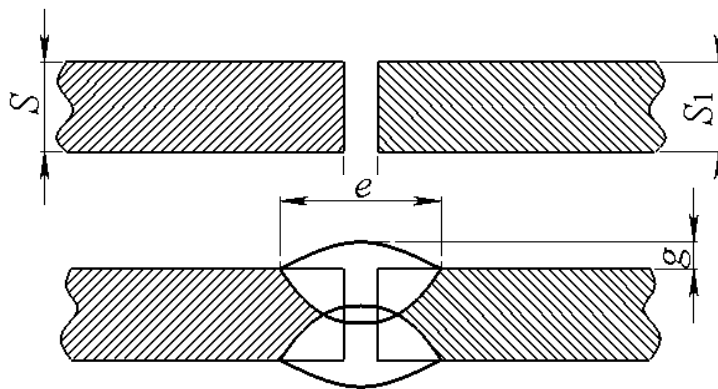


Рисунок 1.2 – Стыковой сварной шов ГОСТ 5264–80–С7

Требуется:

- а) рассчитать параметры режима сварки;
- б) определить структуру свариваемой стали.

Последовательность расчета.

1 По таблице 1.2 для заданной толщины $s = s_1$ подбираем диаметр электрода.

Таблица 1.1 – Исходные данные

$s = s_1$, мм	$L_{изд}$, м	Материал	e , мм (не более)
4	5	10X17H13M3T	9
5	5	10X17H13M3T	9
6	5	10X17H13M3T	9
4	2	17X18H9	8
4	2	17X18H9	8
4	2	17X18H9	8
5	3	10X18H18Ю4Д	9
5	3	10X18H18Ю4Д	9
5	3	10X18H18Ю4Д	9
6	4	20X23H13	8
6	4	20X23H13	8
6	4	20X23H13	8
4	6	20X25H20C2	7
5	6	20X25H20C2	8
6	6	20X25H20C2	9
4	1	3X16H22B6Б	9
4	1	3X16H22B6Б	8
4	1	3X16H22B6Б	7
5	3	08X16H9M2	8
5	3	08X16H9M2	8

Примечание – $b_{ном} = 2$ мм – зазор между деталями; предельное отклонение для $b = \pm 1$ мм; $g = 1,5$ мм – высота валика шва

Таблица 1.2 – Выбор диаметров электродов и сварочных проволок

Диаметр электрода $dэ$, мм (в зависимости от способа сварки)	Толщина металла δ , мм	2	3...5	5...10	10...20
	Ручная сварка покрытыми электродами	2,5	3; 4	4; 5	5; 6
	Механизированная дуговая сварка в углекислом газе	0,8; 1	1,2	1,2; 1,6	1,6
	Автоматическая дуговая сварка в углекислом газе	1	1,2; 1,6; 2	1,6; 2	3; 4
	Автоматическая дуговая сварка под флюсом	–	2; 3	3; 4	4; 5

2 Обосновываем тип электродного покрытия для сварки конкретной стали, после чего по таблице 1.3 выбираем плотность тока.

Таблица 1.3 – Значения плотности тока при ручной дуговой сварке

Вид покрытия электрода	Допускаемая плотность тока в электроде, А/мм ² , при соответствующем $d_{\text{э}}$, мм			
	3	4	5	6
Кислое, рутиловое	14...20	11,5...16	10...13,5	9,5...12,5
Основное	13...18,5	10...14,5	9...12,5	8,5...12

3 Определяем величину сварочного тока по формуле

$$I_{CB} = \frac{\pi d_{\text{э}}^2}{4} J, \quad (1.1)$$

где J – плотность тока.

4 Определяем напряжение на дуге по формуле

$$U_{\text{д}} = 20 + 0,04 I_{CB}. \quad (1.2)$$

5 Находим скорость сварки по формуле

$$v_{CB} = \frac{\alpha_H I_{CB}}{\gamma F_H 100}, \quad (1.3)$$

где F_H – площадь поперечного сечения наплавленного металла за один проход;

α – коэффициент наплавки;

γ – плотность стали.

Коэффициент наплавки для РДС покрытыми электродами выбираем из диапазона 8...10 г/(А·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 (рисунок 1.3):

$$F_H = F_3 + F_B = bh_{\text{ПР}} + 0,75eq, \quad (1.4)$$

где b – зазор между деталями;

e – ширина валика шва;

q – высота валика шва.

Глубина проплавления для стыковых двусторонних швов

$$h_{\text{ПР}} = 0,5s. \quad (1.5)$$



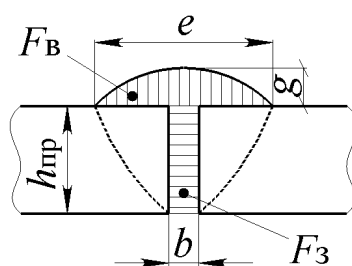


Рисунок 1.3 – Определение площади наплавленного металла

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

с помощью диаграммы Шеффлера (рисунок 1.4) и специальных расчётных формул определяем эквивалентные значения хрома и никеля по формулам:

$$\text{Экв Cr} = \% \text{ Cr} + \% \text{ Mo} + 2 \% \text{ Ti} + 2 \% \text{ Al} + \% \text{ Nb} + 1,5 \% \text{ Si} + \% \text{ V}; \quad (1.6)$$

$$\text{Экв Ni} = \% \text{ Ni} + 30 \% \text{ C} + 30 \% \text{ N} + 0,5 \% \text{ Mn}. \quad (1.7)$$

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

По значениям эквивалентов хрома и никеля на диаграмме Шеффлера наносим точку, соответствующую структуре свариваемой стали.

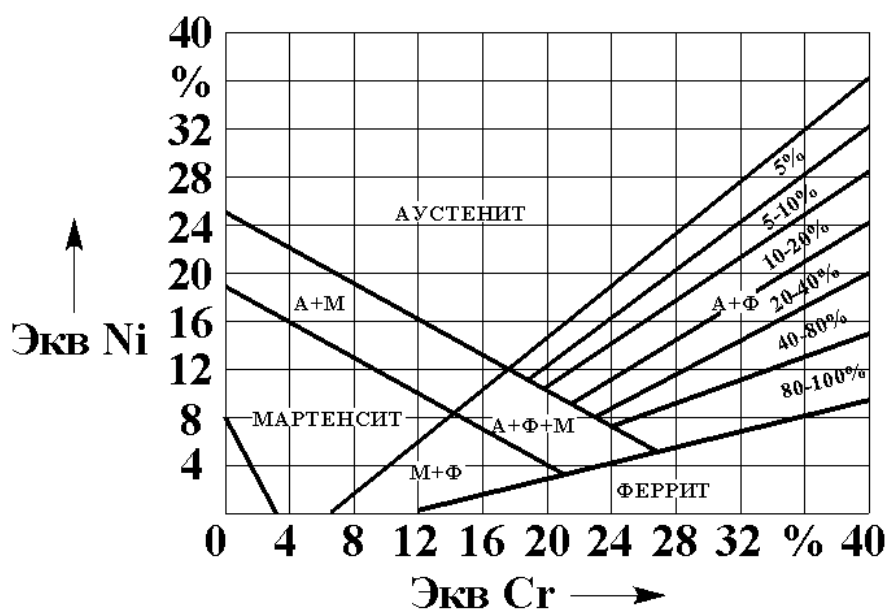


Рисунок 1.4 – Диаграмма Шеффлера

2 Практическое занятие № 2. Определение параметров режима автоматической сварки под флюсом для получения сварного соединения заданного типа

2.1 Общие теоретические сведения

Схема процесса сварки под флюсом приведена на рисунке 2.1.

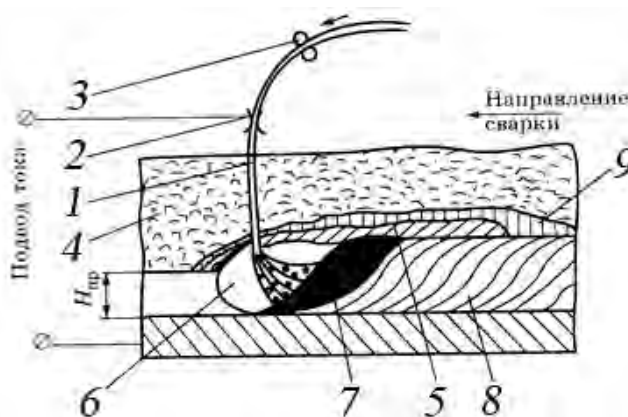


Рисунок 2.1 – Схема процесса сварки под флюсом

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.

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.

Расположение токоподвода на малом расстоянии от дуги и вылет электрода, равный 40...70 мм, позволяют 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.

Основными параметрами режима сварки под флюсом являются:

- диаметр сварочной проволоки;
- сила сварочного тока;
- напряжение на дуге;
- скорость сварки;
- вылет электрода;
- род тока и полярность.

Диаметр сварочной проволоки d_{PP} 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

$$I_{CB} = \frac{h_{PP}}{K_{PP}} \cdot 100, \quad (2.1)$$

где h_{PP} – требуемая глубина проплавления;

K_{PP} – коэффициент пропорциональности, зависящий от условий сварки.

Значения K_{PP} приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Коэффициент пропорциональности (условий сварки)

Марка флюса	Диаметр электродной проволоки, мм	K_{PP}		
		Переменный ток	Постоянный ток	
			Прямая полярность	Обратная полярность
ОСЦ-45	2	1,3	1,15	1,45
	3	1,15	0,95	1,3
	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	0,9	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. Если подкладка стальная



остающаяся, то $H_{\text{ПР}} = \delta + 1$ мм. Двухсторонние швы выполняются таким образом, чтобы они перекрывали друг друга, поэтому $H_{\text{ПР}} = 0,6\delta$. Для угловых швов глубина проплавления также может быть принята $H_{\text{ПР}} = 0,6\delta$.

Напряжение на дуге

$$U_{\text{Д}} = 20 + \frac{0,05I_{\text{СВ}}}{(d_{\text{ПР}})^{0,5}} \mp 1. \quad (2.2)$$

Скорость сварки

$$v_{\text{СВ}} = \frac{\alpha_{\text{Н}} I_{\text{СВ}}}{\gamma A_{\text{Н}} \cdot 100}, \quad (2.3)$$

где $\alpha_{\text{Н}}$ – коэффициент наплавки;

$I_{\text{СВ}}$ – сила сварочного тока;

γ – плотность наплавленного металла (для стали $\gamma = 7,8$ г/см³);

$A_{\text{Н}}$ – площадь поперечного сечения наплавленного металла за один проход, см².

Коэффициент 100 служит для перевода скорости из единиц «сантиметры в час» в «метры в час». Коэффициент наплавки при сварке под флюсом имеет значения $\alpha_{\text{Н}} = 12 \dots 18$ г/(А·ч).

Площадь поперечного сечения наплавленного металла зависит от типа шва. Для угловых швов она определяется через катет шва k и коэффициент учета формы шва a (для выпуклых швов $a = 1,2$; для вогнутых – $a = 0,9$):

$$A_{\text{Н}} = \frac{k^2}{2} a. \quad (2.4)$$

Площадь наплавленного металла стыкового шва, выполненного без разделки кромок, состоит из площади зазора между деталями A_3 и площади валика шва A_B :

$$A_3 = bh_{\text{ПР}}; \quad (2.5)$$

$$A_B = 0,75eg, \quad (2.6)$$

где b – зазор между деталями;

$h_{\text{ПР}}$ – глубина проплавления;

e – ширина валика шва;

g – высота валика шва.

При наличии V-образной разделки кромок площадь наплавленного



металла дополнительно включает площади двух прямоугольных треугольников, один из катетов которых равен толщине свариваемого листа, а второй катет равен половине ширины валика с вычетом половины зазора.

Скорость подачи сварочной проволоки диаметром d

$$v_{\text{III}} = \frac{4\alpha_{\text{H}} I_{\text{СВ}}}{\pi d^2 \gamma \cdot 100}. \quad (2.7)$$

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.

Сварка под флюсом выполняется только в нижнем положении. При этом необходимо предусматривать способы удержания сварочной ванны от ее вытекания в зазор между деталями (сварка на медной подкладке и др.).

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.

2.2 Порядок проведения занятия

Исходные данные.

Способом автоматической дуговой сварки под флюсом на постоянном токе обратной полярности свариваются две пластины. Тип сварного соединения, марку флюса, толщину пластин δ , диаметр сварочной проволоки d , материал пластин, катет шва k (для угловых соединений), ширину валика e , высоту валика g для соответствующего варианта смотрите в таблице 2.2.

Требуется рассчитать параметры режима сварки.

Таблица 2.2 – Исходные данные

Тип соединения	Марка флюса	δ , мм	d , мм	Материал пластин	γ , г/см ³	k , мм	e , мм	g , мм
Угловое	ОСЦ-45	2	2	30ХГСА	7,85	3	–	–
Стыковое без разделки кромок	АН-348А	3	2	ХН60ВТ	8,8	–	6	1,6
Стыковое без разделки кромок	ОСЦ-45	4	3	12Х18Н10Т	7,86	–	8	1,7
Угловое	АН-348А	5	4	Сталь 20	7,86	4	–	–
Стыковое без разделки кромок	ОСЦ-45	6	4	Сталь 08кп	7,86	–	12	1,9
Стыковое без разделки кромок	АН-348А	2	2	Сталь 08кп	7,86	–	4	1,5
Угловое	ОСЦ-45	3	2	Сталь 20	7,86	3	–	–



Окончание таблицы 2.2

Тип соединения	Марка флюса	δ , мм	d , мм	Материал пластин	γ , г/см ³	k , мм	e , мм	g , мм
Стыковое без раз- делки кромок	АН-348А	4	4	12Х18Н10Т	7,86	–	8	1,7
Стыковое без раз- делки кромок	ОСЦ-45	5	3	30ХГСА	7,85	–	10	1,8
Угловое	АН-348А	6	4	30ХГСА	7,85	5	–	–

3 Практическое занятие № 3. Определение параметров режима механизированной дуговой сварки плавящейся проволокой в среде углекислого газа

3.1 Общие теоретические сведения

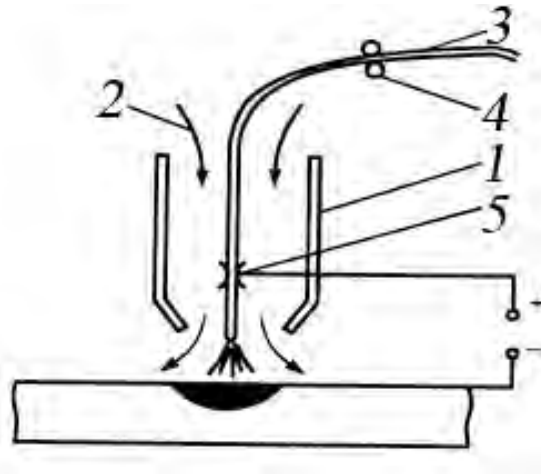
Сварка в защитных газах включает в себя группу способов сварки, для которых защита расплавленного металла от атмосферы осуществляется путем подачи в зону горения дуги через сварочную горелку газа, вытесняющего из этой зоны воздух. Способы сварки в защитных газах отличаются друг от друга родом применяемого 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 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 рисунке 3.1. 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.

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. почти не покрыты шлаковой пленкой.

Основными параметрами режима сварки в углекислом газе являются сила

сварочного тока I_{CB} , напряжение на дуге U_D , диаметр сварочной проволоки d_{PP} , скорость сварки V_{CB} , скорость подачи проволоки $V_{П.П.}$.



1 – сопло сварочной горелки; 2 – подача защитного газа; 3 – сварочная проволока; 4 – подающие ролики; 5 – скользящий токоподвод

Рисунок 3.1 – Схема процесса сварки в защитных газах плавящимся электродом

Расчет начинают с определения требуемой глубины проплавления h_{PP} . Для стыковых односторонних швов глубина проплавления равна толщине свариваемого металла, т. е. $h_{PP} = \delta$. Для стыковых двухсторонних швов $h_{PP} = 0,6\delta$. Для стыковых швов, выполняемых на остающейся подкладке $h_{PP} = \delta + 1$. Для угловых швов $h_{PP} = 0,6\delta$.

Затем по глубине проплавления выбирается соответствующий диаметр сварочной проволоки (см. таблицу 1.2).

После этого выбирается коэффициент пропорциональности (например, $K_{PP} = 1,75$ для постоянного тока обратной полярности), зависящий от условий сварки (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Выбор коэффициента пропорциональности K_{PP}

Способ сварки	Диаметр электродной проволоки, мм	Переменный ток	Постоянный ток	
			Прямая полярность	Обратная полярность
В среде углекислого газа	1,2	–	–	1,75
	1,6	–	–	1,55
	2	–	–	1,45
	3	–	–	1,35
	4	–	–	1,2

Сила сварочного тока

$$I_{CB} = \frac{h_{ПП}}{K_{ПП}} \cdot 100. \quad (3.1)$$

Диаметр сварочной проволоки

$$d_{ПП} = 1,13 \left(\frac{I_{CB}}{\gamma} \right)^{0,5} \quad (3.2)$$

(90...200 А/мм² – допустимая плотность тока для сварки в СО₂).

Напряжение на дуге

$$U_D = 14 + 0,05I_{CB}. \quad (3.3)$$

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

$$k = \frac{N}{[\tau] L_{ШВА} \beta}, \quad (3.4)$$

где N – эксплуатационная нагрузка;

$[\tau]$ – допускаемые касательные напряжения (50 % от σ_T);

$L_{ШВА}$ – длина сварного шва;

β – коэффициент способа сварки ($\beta = 0,8$ для механизированной сварки).

Далее рассчитывается скорость сварки по формуле

$$v_{CB} = \frac{\alpha_H I_{CB}}{\gamma F_H \cdot 100}, \quad (3.5)$$

где α_H – коэффициент наплавки, г/(А·ч) (для механизированной дуговой сварки в среде СО₂ $\alpha_H = 12$ г/(А·ч));

γ – плотность свариваемого металла, г/см³;

F_H – площадь сечения сварного шва (наплавленного металла).

Для углового шва площадь поперечного сечения наплавленного металла

$$F_H = 0,5k^2 a \sin \alpha, \quad (3.6)$$

где k – катет сварного шва;

a – коэффициент, зависящий от формы валика сварного шва (для выпуклых сварных швов принимаем 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,

$$F_H^{PA3D} = 0,5h_{\text{ПР}}(0,5e - 0,5b), \quad (3.7)$$

где e – ширина валика шва;
 b – зазор между деталями.
 Скорость подачи проволоки

$$v_{\text{ПР}} = \frac{4\alpha_H I_{CB}}{\pi d_{\text{ПР}}^2 \gamma \cdot 100}. \quad (3.8)$$

3.2 Порядок проведения занятия

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 таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Исходные данные

Материал пластин	σ_T , МПа	δ , мм	γ , г/см ³	N , кН	$L_{\text{ШВА}}$, мм
Ст3пс	245	4	7,85	50	300
Сталь 08кп	175	5		60	400
15Г	245	6		70	500
09Г2С	345	6		75	250
16ГНМА	325	5		80	350
10ХСНД	390	4		85	450
15ХФ	540	4		90	550
14ХГС	345	5		95	200
10Г2	265	6		45	170
35Г2	365	7		40	230

Требуется рассчитать параметры режима сварки.

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

4.1 Общие теоретические сведения

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 $ТС$ (рисунок 4.1). 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. На определенной стадии протекания тока формируется ядро, как и при точечной сварке.

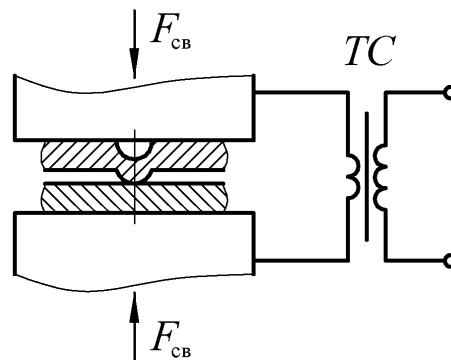


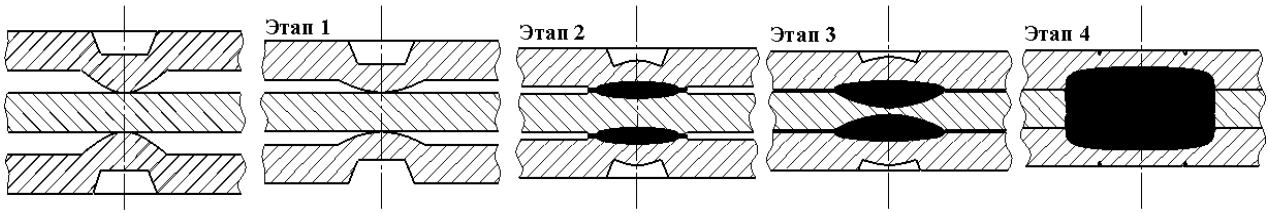
Рисунок 4.1 – Упрощенная схема контактной рельефной сварки

Однако при одновременной сварке трех и более деталей (пакетные или многослойные соединения) вместо двух и более отдельных точек может формироваться общая литая зона для всех соединяемых деталей пакета (рисунок 4.2).

Обычно сварка осуществляется одновременно по нескольким рельефам, т. к. 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.

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.



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); этап 4 – выключение сварочного тока (сформировано расплавленное ядро, снижение и релаксация в околошовной зоне остаточных напряжений)

Рисунок 4.2 – Кинетика образования пакетного рельефного соединения

Основными параметрами режима рельефной сварки являются:

- форма и размеры рельефов;
- величина сварочного тока I_{CB} ;
- время протекания сварочного тока τ_{CB} ;
- сварочное усилие F_{CB} ;
- ковочное усилие $F_{КОВ}$;
- время приложения ковочного усилия $\tau_{КОВ}$;
- время запаздывания ковочного усилия $\tau_{ЗАП}$;
- форма и размеры электродов.

4.2 Порядок проведения занятия

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. В таблице 4.1 представлены варианты исходных данных.

Таблица 4.1 – Теплофизические характеристики материалов

Материал	γ , г/см ³	c , Дж/(г·°С)	a , см ² /с	$T_{пл}$, °С
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

Требуется:

- а) подобрать требуемую длительность протекания сварочного тока τ_{CB} по литературным рекомендациям (таблица 4.2);
- б) рассчитать полное количество электрической энергии $Q_{ЭЭ}$, необходимой для формирования сварного соединения;
- в) рассчитать величину требуемого сварочного тока I_{CB} .

Таблица 4.2 – Исходные данные

δ , мм	d_p , мм	Материал детали	Материал электрода	Диаметр электрода $d_э$, мм	K_1	K_2	τ_{CB} , с	$r_{ЭЭ}$, мкОм
1	3,5	Сталь 08кп	Л62 (латунь)	40	0,8	1	0,25	100
1,5	4						0,36	110
2	5						0,48	120
2,5	7						0,9	130
3	8						1,5	140
1	3,5	30ХГСА	М1 (медь)	45			0,25	100
1,5	4						0,36	110
2	5						0,48	120
2,5	7						0,9	130
3	8						1,5	140
1	3,5	Сталь 08кп	БрБ2 (бронза)	50			0,25	100
1,5	4						0,36	110
2	5						0,48	120
2,5	7						0,9	130
3	8						1,5	140
1	3,5	30ХГСА	БрОФ-6,5-0,5 (бронза)	60	0,25	100		
1,5	4				0,36	110		
2	5				0,48	120		
2,5	7				0,9	130		
3	8				1,5	140		

Последовательность расчета:

1 Геометрия пакетного соединения и схема расчета теплового баланса представлены на рисунке 4.3.

2 Уравнение теплового баланса зоны сварки

$$Q_{ЭЭ} = Q_{СТ} + Q_M + Q_э, \quad (4.1)$$

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

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



$d_{\text{Э-Д}}$ – диаметр контакта электрода с деталью;

$c_{\text{Э}}$ – теплоемкость материала электродов;

$\gamma_{\text{Э}}$ – плотность материала электродов.

При расчете баланса энергии зоны сварки предполагается, что необходимо и достаточно рассчитывать электрическую энергию, вводимую в два столбика металла. Расчет составляющих уравнения теплового баланса 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 $X_{1\text{Me}}$, см, приближается к $0,25T_{\text{пл}}$. Ширина кольца растет с увеличением продолжительности нагрева и повышением температуропроводности свариваемого металла

$$X_{1\text{Me}} = 4\sqrt{a_M \tau_{\text{CB}}} . \quad (4.5)$$

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

Область распространения тепла в электроды

$$Y_{\text{ЭЛ1}} = Y_{\text{ЭЛ2}} = 4\sqrt{a_{\text{Э}} \tau_{\text{CB}}} . \quad (4.6)$$

Требуемый сварочный ток

$$I_{\text{CB}} = \left(\frac{Q_{\text{ЭЭ}}}{r_{\text{ЭЭ}} \tau_{\text{CB}}} \right)^{0,5} , \quad (4.7)$$

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

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

Требуется рассчитать необходимый сварочный ток.



5 Практическое занятие № 5. Дефекты сварных соединений, обнаружение дефектов контактной рельефной сварки и анализ причин их возникновения

5.1 Общие теоретические сведения

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 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 рисунке 5.1, 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) (рисунок 5.1, б).

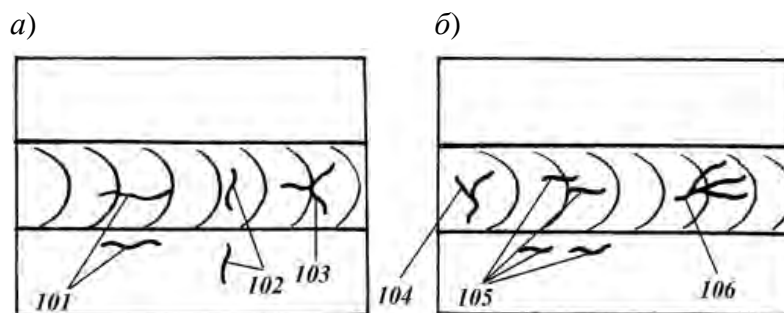


Рисунок 5.1 – Типы трещин в сварном соединении

Продолговатые трубчатые полости называют свищами (2016) (рисунок 5.2).

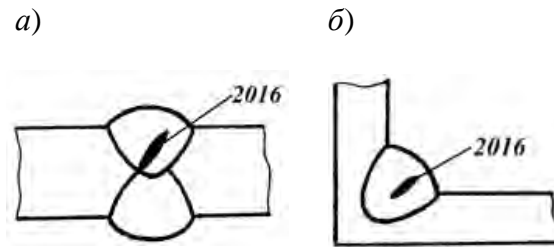


Рисунок 5.2 – Свищи в стыковых (а) и угловых швах (б)

К полостям также относят усадочные раковины и кратеры. Кратер – это незаваренная усадочная раковина в конце валика сварного шва (рисунок 5.3).

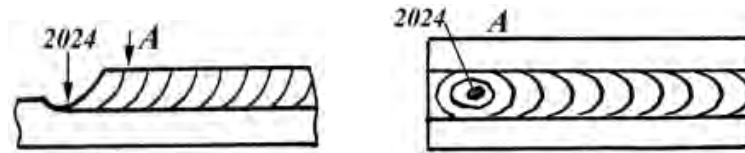
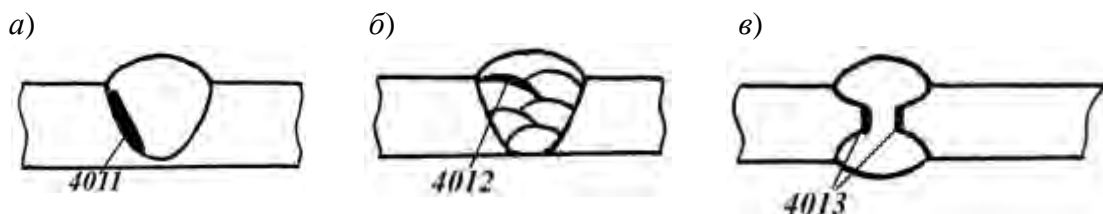


Рисунок 5.3 – Незаваренный кратер шва

Твердые включения – 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) характеризуются 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) (рисунок 5.4).



а – по боковой поверхности; б – между валиками; в – в корне сварного шва

Рисунок 5.4 – Типы несплавления в сварном шве

Непровар (402) – это несплавление основного металла по длине шва, возникшее вследствие неспособности расплавленного металла заполнить зазор между деталями (рисунок 5.5).

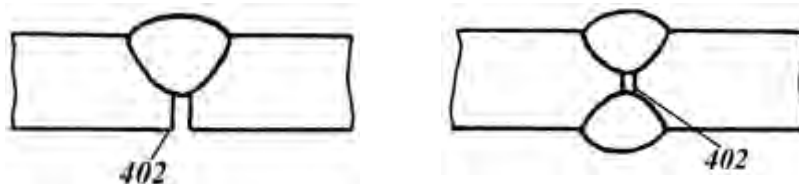


Рисунок 5.5 – Виды непровара (с обратной стороны и по центру пластины)

Нарушением формы шва считается отклонение формы наружных поверхностей сварного шва или геометрии соединения от установленных значений. К нарушениям формы шва относятся подрезы, линейное и угловое смещение свариваемых элементов, превышение выпуклости сварного шва, асимметрия шва, натеки, наплавы и др.

К прочим дефектам относятся брызги металла, местное повреждение металла вследствие случайного зажигания дуги, поверхностные задиры, вызванные случайным привариванием приспособления, утонение металла 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: неудовлетворительная подготовка поверхностей деталей перед сваркой; нарушение точности во взаимном расположении деталей перед сваркой; 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.

Травление зеркально отшлифованных плоских образцов можно производить 30-процентным водяным раствором хлористого железа (натирка ватной палочкой) с последующей протиркой спиртом и просмотром макрошлифа на микроскопе.

Внешний вид протравленных макрошлифов, которые можно анализировать на наличие/отсутствие дефектов, представлен на рисунке 5.6.

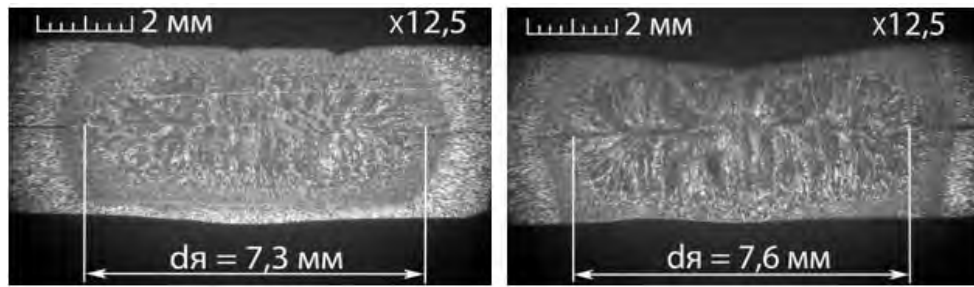


Рисунок 5.6 – Макрошлифы рельефных сварных соединений двух пластин из стали 08кп толщиной (2 + 2) мм при сварке по одному круглому выштампованному рельефу

5.2 Порядок проведения занятия

Исходные данные.

Имеется макрошлиф сварного соединения, полученного способом контактной рельефной сварки (фотография макрошлифа выдается преподавателем каждому студенту). Пример макрошлифа с дефектом представлен на рисунке 5.7.

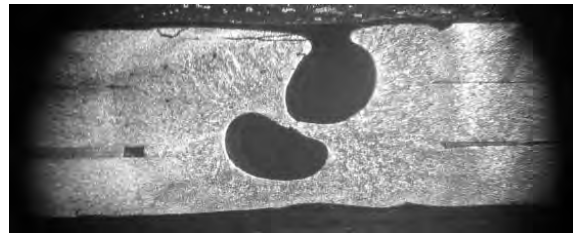


Рисунок 5.7 – Макрошлиф пакетного рельефного сварного соединения пластин с дефектами

Требуется:

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

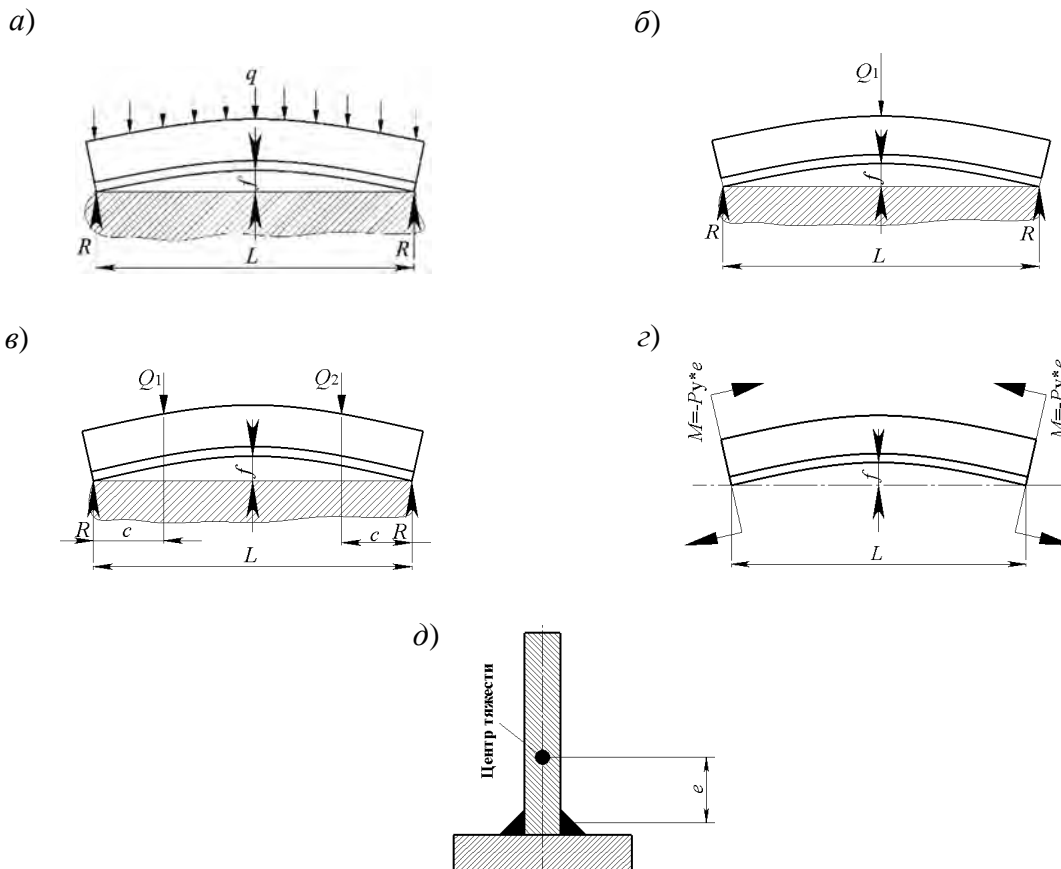
6 Практическое занятие № 6. Расчет рычажных зажимных устройств, применяемых в сборочно-сварочных кондукторах и стендах с целью предотвращения деформаций при сварке

6.1 Общие теоретические сведения

Основными видами деформаций сварной балки являются: продольный (осевой) изгиб; поперечный изгиб (грибовидность); скручивание.

По характеру силового действия сборочно-сварочных устройств различают кондукторы, удерживающие балку от деформирования во время сварки и остывания швов, и кондукторы, служащие для компенсации остаточных деформаций балки путем ее предварительного изгиба или скручивания, т. е. деформирования в обратном направлении.

Продольный изгиб тавровой балки представлен на рисунке 6.1.



a – равномерно распределенная нагрузка в виде ряда клавишных прижимов; *б* – сосредоточенная сила посередине длины балки; *в* – две силы, симметрично расположенные по длине балки; *г* – изгибающие моменты, приложенные по концам балки; *д* – сечение балки

Рисунок 6.1 – Продольная деформация сварной балки и схемы ее нагружения в сборочно-сварочном кондукторе

Исходные данные для расчета: размер стенки тавра; размер пояса тавра; катеты обоих швов; длина балки.

Также необходимы момент инерции сечения балки J и расстояние между центрами тяжести сечения балки и сечения шва (эксцентриситет e в миллиметрах; рисунок 6.2).

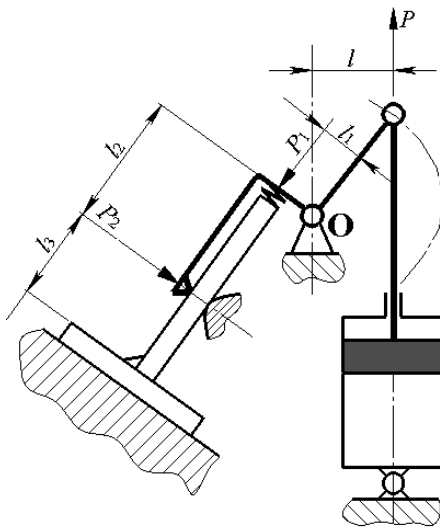


Рисунок 6.2 – Расчетная схема рычажного зажимного устройства для сборки тавровых балок

Усадочная сила, действующая по оси швов (усилие для изгиба балки в обратном направлении):

– при сварке в тавр одним швом

$$P_y = 1,7Dk^2; \quad (6.1)$$

– при сварке в тавр двумя швами

$$P_y = 1,15(1,7Dk^2), \quad (6.2)$$

где D – коэффициент способа сварки;
 k – катет углового шва.

Расчетные усилия, возникающие на каждом из верхних зажимов кондуктора под действием этих усадочных сил:

– после сварки первого шва на балке длиной L

$$q_1 = \frac{9,6P_{yc1}e}{L^2}; \quad (6.3)$$

– после сварки обоих швов

$$q_2 = \frac{9,6P_{yc2}e}{L^2}. \quad (6.4)$$

При сварке балки в зажатом состоянии поперечная усадка углового шва может вызвать в металле шва опасные изгибные напряжения, превышающие предел его текучести.

Допускаемая сила прижатия для верхних прижимов кондуктора с учетом предела текучести

$$P_2 = \frac{b_{1M} h^2 [\sigma]}{6l_3}, \quad (6.5)$$

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

При сварке в незажатом состоянии, т. е. при отсутствии P_2 , в районе прижимов образуется свободный зазор $\Delta_0 = l_3 \tan \alpha$, где $\tan \alpha$ – угловая деформация).

Под действием силы P_2 возникает прогиб обратного знака $f = \frac{P_2 l_3^3}{3EJ}$.

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

$$\Delta = \Delta_0 - f = l_3 \tan \alpha - \frac{P_2 l_3^3}{3EJ}, \quad (6.6)$$

где $\frac{b_{1M} t_{CT}^3}{12}$ – момент инерции сечения стенки балки на длине b_{1M} (длина одного шва, равная 100 см) при толщине стенки балки t_{CT} .

Фактическое усилие, создаваемое на кромке (торце) стенки от давления рычага на стенку усилием P_2 ,

$$P_1 = K(S_1 - fP_2), \quad (6.7)$$

где fP_2 – сила трения между прижимом на конце рычага и стенкой;

f – коэффициент трения сухой детали о деталь;

K – коэффициент запаса;

$S_1 = q_2$ (см. формулу (4.2)).

Усилие гидропривода

$$P = \frac{P_1 l_1 + P_2 l_2}{l}. \quad (6.8)$$

Усилие, воспринимаемое опорным шарниром рычага при угле наклона рычага 45° по отношению к оси штока привода,

$$Q = \sqrt{(P_1 + 0,7P)^2 + (P_2 + 0,7P)^2}. \quad (6.9)$$



Диаметр силового цилиндра привода

$$D = \sqrt{\frac{4P}{\pi q \eta}}, \quad (6.10)$$

где q – давление масла в силовом цилиндре;

η – КПД привода.

Необходимый момент сопротивления поперечного сечения рычага в опасном месте

$$W = \frac{M_{II}}{[\sigma]} = \frac{P_2 l_2}{[\sigma]}. \quad (6.11)$$

Далее выбирается сечение рычага, например, квадратная труба. Размер сечения подбирается таким образом, чтобы его расчетный момент сопротивления был больше того, что рассчитан по формуле (6.11).

Например, для квадратной трубы момент сопротивления

$$W = \frac{4}{3} a^2 \delta, \quad (6.12)$$

где a – ширина стенки трубы;

δ – толщина стенки трубы.

6.2 Порядок проведения занятия

Изучить общие положения касательно вопроса расчета рычажных зажимных устройств, применяемых в сборочно-сварочных кондукторах и стендах. Получить у преподавателя индивидуальное задание согласно исходным данным (таблица 6.1 и рисунок 6.2).

Таблица 6.1 – Исходные данные

Материал балки	Способ сварки	Стенка балки $h_{CT} \times t_{CT}$, мм	Пояс балки $b \times s$, мм	L , м	k , мм	J , см ⁴	e , см	h , см	σ_T , кгс/см ²
08кп	А	400 × 10	200 × 16	6	8	11707	10,6	0,7	1750
20кп	Р	500 × 10	220 × 10	7	7	19295	12,5	0,6	2250
ст. 30	А	450 × 10	210 × 10	8	8	14297	11,5	0,7	2950
16ГС	Р	380 × 10	250 × 10	9	7	10907	9,5	0,6	3250
25ГС	А	520 × 10	250 × 10	10	8	25753	13	0,7	2500
08кп	Р	400 × 10	200 × 16	11	7	11707	10,6	0,6	1750
20кп	А	500 × 10	220 × 10	12	8	19295	12,5	0,7	2250

Примечание – А – автоматическая сварка; Р – ручная



Исходные данные.

- 1 Балка определенных размеров из стали укладывается в кондуктор для сборки и сварки заданным способом.
- 2 Момент инерции сечения балки J .
- 3 Катеты швов k .
- 4 Эксцентриситет e .
- 5 Модуль упругости стали E (принимать в расчетах $2,1 \cdot 10^6$ кгс/см²).
- 6 D – коэффициент способа сварки (для автоматической сварки – 30000, для ручной дуговой – 40000).
- 7 Длина одного шва $b_{1M} = 1$ м.
- 8 Высота шва в опасном сечении h , см.
- 9 Толщина стенки балки $t_{СТ}$, см. Высота стенки балки $h_{СТ}$, см.
- 10 $l_3 = 19$ см, $l = 9$ см, $l_1 = 6$ см, $l_2 = 21$ см (см. рисунок 6.2).
- 11 Угловая деформация $\tan \alpha = 0,01$.
- 12 Коэффициент трения сухой стали о сталь составляет 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 составляет 0,1. Радиус оси шарнира равен 2 см.
- 16 $q = 20$ кгс/см² – давление масла в цилиндре привода.
- 17 $\eta = 0,8$ – КПД привода.
- 18 Ход поршня составляет 20 см.
- 19 Предел прочности материала рычага $[\sigma] = 6000$ кгс/см².

Требуется определить:

- а) усилия, возникающие на зажимах кондуктора под действием усадочных сил после сварки швов;
- б) допускаемую силу прижатия для нижних зажимов кондуктора;
- в) проверить, будет ли образовываться при сварке зазор под силой P_2 между стенкой свариваемой балки и опорной поверхностью кондуктора;
- г) усилие, с которым давит рычаг на кромку стенки тавра;
- д) требуемое усилие на штоке привода;
- е) опорную реакцию шарнира;
- ж) диаметр цилиндра привода;
- з) выбрать сечение (коробчатое) для рычага по допустимому значению его момента сопротивления.



7 Практическое занятие № 7. Расчет различных прижимов для сборочно-сварочных приспособлений

7.1 Общие теоретические сведения

Клиновые прижимы.

Для обеспечения условия самоторможения клинового прижима необходимо, чтобы для одностороннего клина $\varphi \leq 2\rho$ и для двустороннего – $\varphi_1 + \varphi_2 \leq 2\rho$ (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 для поджатия детали на величину c (рисунок 7.1)

$$l = \frac{c}{\tan \varphi} . \quad (7.1)$$

Усилия заколачивания и выколачивания клина:

$$P_1 = Q [\tan (\varphi + \rho) + \tan \rho]; \quad (7.2)$$

$$P_2 = Q [\tan (\rho - \varphi) + \tan \rho]. \quad (7.3)$$

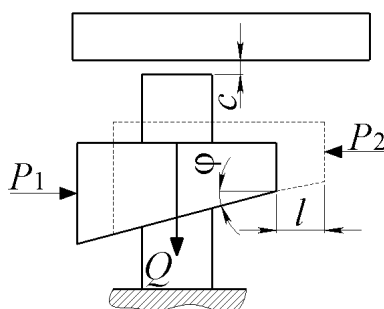


Рисунок 7.1 – Расчетная схема клинового прижима

Эксцентрикые прижимы.

Прижимное усилие Q , развиваемое эксцентрикым прижимом (рисунок 7.2),

$$Q = (10 \dots 12) P, \quad (7.4)$$

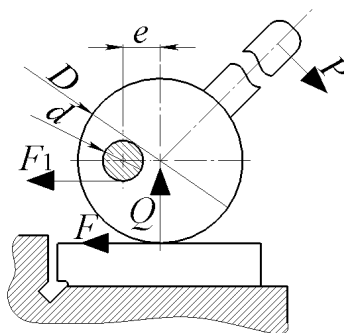
где P – усилие, прикладываемое к рукоятке прижима.

Условие самоторможения эксцентрика

$$Qe \leq \frac{fQD}{2} + \frac{f_1Q_1d}{2} \quad \text{или} \quad e \leq \frac{fD}{2} + \frac{f_1d}{2}, \quad (7.5)$$

где fQ – сила трения в контакте «кулачок – деталь»;

f_1Q_1 – сила трения на оси вращения кулачка.



D – диаметр кулачка; d – диаметр пальца; P – усилие на рукоятке; Q – усилие прижатия; e – эксцентриситет; F – сила трения в контакте «кулачок-деталь»; F_1 – сила трения в контакте «кулачок-палец»

Рисунок 7.2 – Расчетная схема эксцентрикового прижима

Винтовые прижимы.

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

Сила на рукоятке винтового прижима (рисунок 7.3)

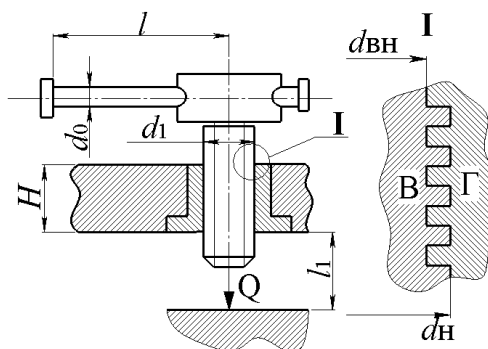
$$W = \frac{Q r_{CP}}{\tan(\alpha + \varphi_1) l}, \quad (7.6)$$

где r_{CP} – средний радиус резьбы;

l – длина рукоятки;

α – угол подъема резьбы;

φ_1 – угол трения в резьбовой паре.



В – винт; Г – гайка

Рисунок 7.3 – Расчетная схема винтового прижима

Количество витков резьбы в гайке

$$n = \frac{4Q}{\pi(d_H - d_{BH})^2 \rho_0}, \quad (7.7)$$

где d_H и d_{BH} – наружный и внутренний диаметры резьбы;
 ρ_0 – удельное давление на поверхности ниток резьбы.
 Высота гайки

$$H = \frac{nS}{m}, \quad (7.8)$$

где S – шаг винта;
 m – число заходов резьбы.
 Наружный диаметр винта

$$d_{НАР} = \sqrt{\frac{Q}{0,5[\sigma]_P}}, \quad (7.9)$$

где $[\sigma]_P$ – допускаемое напряжение на растяжение материала винта при переменной нагрузке.

7.2 Порядок проведения занятия

Изучить общие положения касательно вопросов расчета механических прижимов сборочно-сварочных приспособлений.

Получить у преподавателя индивидуальное задание согласно исходным данным (рисунки 7.1–7.3 и таблицы 7.1–7.3).

7.2.1 Расчет клинового прижима.

Исходные данные.

1 Согласно рисунку 7.1 и таблице 7.1 имеются два клиновых стальных прижима (Ст 3) с односторонним клином, при помощи которых необходимо осуществить поджатие стальной трубы (Ст 3) определенных массы Q и состояния поверхности к стальным установочным поверхностям двухстоечного поворотного кантователя таким образом, чтобы труба не выпала в процессе сварки при повороте кантователя в наиболее опасное положение (поворот на 90° из плоскости).

Таблица 7.1 – Исходные данные для расчета клиновых прижимов

Q , кгс	Состояние поверхности трубы	c , мм	φ , °
600	Сухая, чистая	9	4
650	Обмасленная	8	4,5
700	Сухая, чистая	7	5
750	Обмасленная	6	5,5
800	Сухая, чистая	5	6
850	Обмасленная	4	6,5
900	Сухая, чистая	3	7



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

3 Зазор между клиньями и трубой c , мм.

4 Угол скоса одностороннего клина φ , град.

Определить следующее.

1 Угол трения клиньев о трубу.

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

3 Усилие заколачивания клина.

4 Усилие выколачивания клина.

5 Проверить условие самоторможения клина.

7.2.2 Расчет эксцентрикового прижима.

Исходные данные.

1 Согласно рисунку 7.2 и таблице 7.2 имеется быстродействующий эксцентриковый прижим, поджимающий стальной свариваемый лист к стальному основанию приспособления при сварке.

Таблица 7.2 – Исходные данные для расчета эксцентриковых прижимов

P , Н	Состояние поверхности листа
300	Сухой
260	Обмасленный
250	Сухой
200	Обмасленный
150	Сухой
300	Обмасленный
260	Сухой

2 Усилие P , 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.

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

Определить следующее.

1 Прижимное усилие, развиваемое зажимом.

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

7.2.3 Расчет винтового прижима.

Исходные данные.

1 Задано усилие Q , кгс, винтового прижима приспособления для сборки-сварки стальных рам (см. рисунок 7.3 и таблицу 7.3).



Таблица 7.3 – Исходные данные для расчета винтовых прижимов

Q , Н	$[\sigma]_P$, МПа	l , см
1000	60	50
1100	70	45
1200	80	40
1300	90	35
1400	95	30
1000	60	50
1100	70	45

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

3 Удельное давление на поверхности ниток резьбы p_0 , МПа: для стального винта и чугунной гайки $p_0 = 50 \dots 60$ МПа, для стальной гайки $p_0 = 90 \dots 130$ 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 α , град, определять по формуле $\alpha = \arctg(P/\pi d_2)$, где P – шаг резьбы, мм; d_2 – средний диаметр резьбы, мм.

7 Угол трения резьбовой пары φ_1 , град, рассчитывать по формуле $\varphi_1 = \arctg(f_R)$, где f_R – коэффициент трения материалов сопрягаемых деталей.

Определить следующее.

1 Наружный диаметр винта.

2 Наружный и внутренний диаметры резьбы гайки.

3 Количество витков резьбы в гайке.

4 Силу на рукоятке винтового прижима.

8 Практическое занятие № 8. Внешнее управление регулятором цикла сварки контактной машины в режиме реального времени

8.1 Общие теоретические сведения

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.

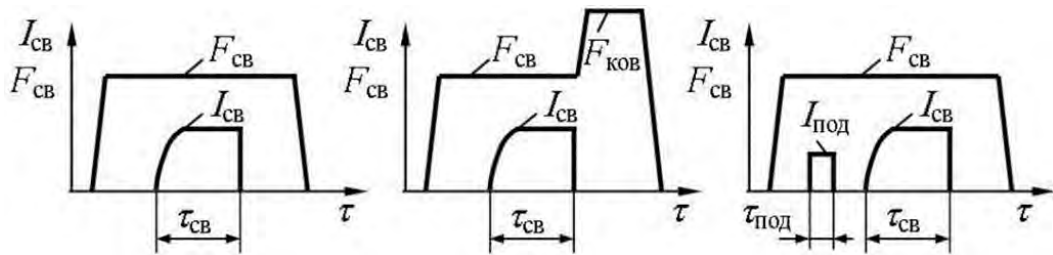
При этом для того, чтобы обеспечить равномерность протекания термомодеформационных процессов в зоне сварки, а также предотвратить возможность возникновения различного рода дефектов (выплески расплавленного металла, несплошности литой зоны, остаточные напряжения в околошовной зоне и др.),



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 рисунке 8.1 в качестве примера показаны три типичные циклограммы процесса контактной рельефной сварки деталей из низкоуглеродистой стали.



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

Рисунок 8.1 – Циклограммы процесса рельефной сварки

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.).

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 РКС-801, которыми укомплектовываются машины контактной точечной сварки МТ-3201, МТ-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 ($\pm 3 \dots 4$ 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 электроэнергии при этом 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 можно использовать аналого-цифровое устройство сбора данных NI USB 6251 и программное обеспечение для него – среду графического программирования электротехнических процессов LabVIEW 2010.

Устройство NI USB 6251 – это универсальный аналого-цифровой преобразователь в виде цифровой портативной микросхемной платы, 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 (рисунок 8.2).



Рисунок 8.2 – 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 в 1 в схеме с общим проводом. Усиление вычисляется автоматически на основании диапазона входных напряжений. A/D Converter (аналого-цифровой преобразователь) выполняет дискретизацию аналогового сигнала, т. е. 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 РКС-801 со стороны создаваемой системы можно осуществлять посредством подключения дополнительного разъема РШАВКУ-14, расположенного на задней панели регулятора.

8.2 Порядок проведения занятия

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

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

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

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

8.2.5 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 РКС-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 (алгоритм создания графического программного кода взять у преподавателя).

Несколько первых этапов создания графического программного кода.

8.2.5.1 Загружаем программу LabVIEW 2010 на ЭВМ, в появившемся окне нажимаем «New»/«Blank VI».

8.2.5.2 В появившемся окне «Untitled 1 Front Panel» нажимаем на панели инструментов «Window»/«Show Block Panel».

8.2.5.3 Под панелью инструментов появлялся белый экран (рабочее поле). Наводим на него мышью 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.

8.2.5.4 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 пять 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.

8.2.5.5 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 (рисунок 8.3, а). Затем перетаскиваем его мышью в первый кадр последовательности.

8.2.5.6 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 ждем «OK». В результате создается блок сравнения, основная функция которого – распознавание логического цифрового сигнала напряжения величиной 5 В.

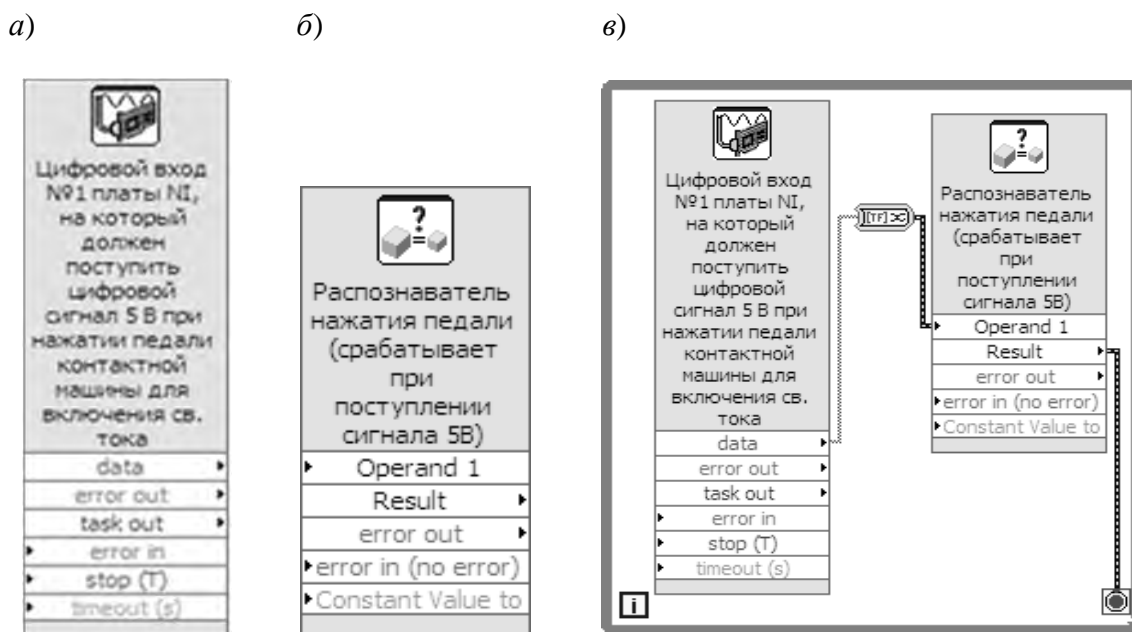
8.2.5.7 Соединяем между собой выход «Data» виртуального прибора «DAQ Assist Input» со входом «Operand 1» прибора «Comparison» (рисунок 8.3, б).

8.2.5.8 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 будет создан первый цикл алгоритма автоматического регулирования параметров процесса сварки (рисунок 8.3, в).



а – для приема цифрового сигнала 5 В при нажатии педали контактной машины; б – для распознавания принятого цифрового сигнала при нажатии сварщиком педали; в – цикл, активирующий дальнейший программный код управления процессом сварки

Рисунок 8.3 – Виртуальные блоки программного кода

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.

8.2.6 После написания программного кода подключить экспериментальную установку к контактной машине МТ-3201 и сварить нескольких пар деталей из низкоуглеродистой стали толщиной 2 мм с внешним заданием двухступенчатого импульса сварочного тока, требуемого тепловложения в зону сварки на каждой из ступеней импульса, а также автоматическим выключением сварочного тока по достижением суммарного тепловложения в зону сварки требуемого значения.

Диапазон управляющих напряжений для регулятора цикла сварки РКС-801 и контактной машины МТ-3201 взять у преподавателя. Коэффициент усиления сигналов управления равен 10.

Контрольные вопросы

- 1 История возникновения ручной дуговой сварки плавящимся электродом.
- 2 Сущность ручной дуговой сварки плавящимся электродом.
- 3 Основные параметры режима ручной дуговой сварки плавящимся электродом.
- 4 Понятие сварочной дуги. Длина сварочной дуги.
- 5 Способы выполнения сварных швов по длине.
- 6 Обозначение сварных швов, полученных способом ручной дуговой сварки плавящимся электродом, на чертежах.
- 7 Порядок расчета основных параметров режима ручной дуговой сварки плавящимся электродом.
- 8 Порядок определения структуры легированной стали по диаграмме Шеффлера.
- 9 История возникновения автоматической сварки под флюсом.
- 10 Сущность дуговой сварки под флюсом.
- 11 Основные параметры режима дуговой сварки под флюсом.
- 12 Техника осуществления дуговой сварки под флюсом.
- 13 Порядок расчета основных параметров режима дуговой сварки под флюсом.
- 14 Сущность дуговой сварки в защитных газах.
- 15 Основные параметры режима дуговой сварки в защитных газах.
- 16 Отличия сварки в активных и инертных газах.
- 17 Порядок расчета основных параметров режима механизированной дуговой сварки в защитных газах плавящейся проволокой.
- 18 Сущность контактной рельефной сварки.
- 19 Основные параметры режима контактной рельефной сварки.
- 20 Основные геометрические параметры рельефного сварного соединения.
- 21 Порядок расчета основных параметров режима контактной рельефной сварки.
- 22 Дефекты сварки. Классификация.
- 23 Причины возникновения дефектов при сварке.
- 24 Методики изготовления макрошлифов сварных соединений.
- 25 Методика анализа макрошлифов сварных соединений на наличие дефектных зон.
- 26 Какие основные виды сварочных деформаций для сварной балки Вы знаете?
- 27 Каков характер изгиба балки под действием постоянного момента?
- 28 Для чего необходимо рассчитывать величину усадочных сил, действующих на тавровое соединение по оси швов при сварке?



29 Какие виды прижимов, используемых в сборочно-сварочных приспособлениях, вы знаете?

30 В чем состоит принцип работы клинового прижима?

31 В чем состоит принцип работы эксцентрикового прижима?

32 В чем состоит принцип работы винтового прижима?

33 Принцип работы регулятора контактной сварки.

34 Принцип работы устройства сбора данных NI USB 6251.

35 Принцип работы среды программирования LabVIEW 2010.

36 Описание экспериментальной установки для реализации процесса внешнего управления работой регулятора цикла сварки.

37 Сущность работы, основные блоки и операторы имитационной модели системы внешнего управления регулятором цикла сварки контактной машины.

38 Как задается ступенчатый импульс сварочного тока в системе управления?

39 Как задать требуемые значения тепловложения в системе управления?

40 Как определить суммарную фактическую длительность протекания сварочного тока при его автоматическом выключении системой управления?

Список литературы

1 **Куликов, В. П.** Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки / В. П. Куликов. – Минск : Новое знание ; Москва : ИНФРА-М, 2016. – 463 с.

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

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

4 **Фролов, В. В.** Теория сварочных процессов / В. В. Фролов. – Москва : МГТУ им. Баумана, 2007. – 752 с.

5 **Грабин, В. Ф.** Металловедение сварки плавлением / В. Ф. Грабин. – Киев : Наукова думка, 1982. – 416 с.

6 **ГОСТ 5264–80.** Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры. – Москва : Стандартиформ, 2009. – 35 с.

7 **ГОСТ 11534–75.** Ручная дуговая сварка. Соединения сварные под острым и тупым углом. – Москва : Стандартиформ, 2002. – 23 с.

8 **ГОСТ 8713–79.** Сварка под флюсом. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры. – Москва : Стандартиформ, 2007. – 41 с.

9 **ГОСТ 14771–76** Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры. – Москва : Стандартиформ, 2013. – 39 с.



10 **Березиенко, В. П.** Технология сварки давлением / В. П. Березиенко, С. Ф. Мельников, С. М. Фурманов. – Могилев : Беларус.-Рос. ун-т, 2009. – 256 с.

11 **Смирнов, В. В.** Оборудование для контактной сварки / В. В. Смирнов. – Санкт-Петербург : Энергоатомиздат, 2000. – 736 с.

12 **Орлов, Б. Д.** Технология и оборудование контактной сварки : учебник для вузов / Б. Д. Орлов. – Москва : Машиностроение, 1986. – 352 с.

13 **Севбо, П. И.** Конструирование и расчет механического сварочного оборудования / П. И. Севбо. – Киев : Наукова думка, 1978. – 400 с.

14 **Рыморов, Е. В.** Новые сварочные приспособления / Е. В. Рыморов. – Ленинград : Стройиздат, 1988. – 125 с.

15 **Березиенко В. П.** Совершенствование технологии контактной точечной и рельефной сварки / В. П. Березиенко, В. А. Попковский, С. Ф. Мельников. – Минск : Вышэйшая школа, 1990. – 145 с.

16 **Гладков, Э. А.** Управление процессами и оборудованием при сварке / Э. А. Гладков. – Москва : Академия, 2006. – 432 с.

17 Оптимизация количества энергии, вводимой в зону рельефной сварки пакетных соединений / А. Ю. Поляков [и др.] // Вестн. Беларус.-Рос. ун-та. – 2012. – № 2. – С. 67–77.

18 **Тревис, Дж.** LABVIEW для всех : пер. с англ. / Дж. Тревис. – Москва : ДМК Пресс ; Приборкомплект, 2005. – 544 с.

