

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Курганский государственный университет»  
Кафедра «Технология и автоматизация сварочного производства»

## **ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ ПЛАВЛЕНИЕМ**

Методические указания  
к выполнению лабораторных работ  
для студентов направления 15.03.01 «Машиностроение»  
направленности «Оборудование и технология сварочного производства»

Курган 2018

Кафедра: «Технология и автоматизация сварочного производства».

Дисциплина: «Технология сварки плавлением» (направление 15.03.01  
«Машиностроение»).

Составил: канд. хим. наук, доц. А. К. Давыдов.

Утверждено на заседании кафедры « 07 » декабря 2017 г.

Рекомендовано методическим советом университета « 20 » декабря 2017 г.

## Лабораторная работа № 1 (4 часа)

### ПЛАВЛЕНИЕ И ПЕРЕНОС ЭЛЕКТРОДНОГО МЕТАЛЛА ПРИ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКЕ ШТУЧНЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ

Цель работы: изучить влияние типа покрытия, марка электрода и силы тока на основные характеристики плавления и переноса электродного металла: коэффициент расплава  $\alpha_p$ ; коэффициент наплавки  $\alpha_n$  и коэффициент угара и разбрызгивания  $\psi$ , теоретическую производительность процесса  $G$ .

#### 1.1 Необходимое оборудование и материалы

- 1) сварочный пост постоянного тока;
- 2) весы лабораторные с разновесом;
- 3) секундомер;
- 4) линейка;
- 5) электроды марок УОНИ 13/45 и ОЗС-4 диаметром 4 мм (или другие);
- 6) пластины из низкоуглеродистой стали;
- 7) молоток, зубило.

#### 1.2 Общие положения

Интенсивность плавления электродного металла определяется тепловыделением в столбе дуги и в ее при электродной области, примыкающей к электроду. Перенос расплавленного электродного металла осуществляется через дуговой промежуток (равный длине дуги) под действием силы газодинамического давления в результате образования  $\text{CO}_2$  при разложении газообразующих компонентов покрытия и силы тяжести. При этом часть металлов при переносе не попадает в сварочную ванну, а теряется на угар и разбрызгивание.

Характеристики плавления и переноса электродного металла определяются по формулам:

$$\text{- коэффициент расплавления: } \alpha_p = \frac{G_p \cdot 3600}{I \cdot t} \left( \frac{z}{\text{А} \cdot \text{ч}} \right); \quad (1)$$

$$\text{- коэффициент наплавки: } \alpha_n = \frac{G_n \cdot 3600}{I \cdot t} \left( \frac{z}{\text{А} \cdot \text{ч}} \right); \quad (2)$$

$$\text{- коэффициент угара и разбрызгивания:} \\ \psi = \frac{\alpha_p - \alpha_n}{\alpha_p} \cdot 100\%; \quad (3)$$

- теоретическая производительность:

$$G = \frac{\alpha_n \cdot I_{св}}{1000} \left( \frac{\text{кг}}{\text{ч}} \right); \quad (4)$$

где  $t$  – время горения дуги, с.

Увеличение тока приводит к повышению температуры дуги, т. е. к интенсивности расплавления электрода и ускорению протекания химических реакций. Следовательно, с увеличением тока  $\alpha_n$  и  $\alpha_p$  увеличиваются, но на разные значения, так как увеличение температуры дуги приводит к увеличению количества образующихся газов и повышению их давления в дуге, а значит и к повышению потерь на угар и разбрызгивание.

Коэффициент расплавления толстопокрытых электродов значительно уменьшается по сравнению с коэффициентом тонкопокрытых электродов, поскольку некоторое количество теплоты дуги расходуется на плавление, испарение и разложение покрытия, но прямой зависимости  $\alpha_p$  от толщины покрытия нет.

Коэффициент потерь  $\psi$  с увеличением толщины покрытия электродов уменьшается за счет того, что материалы покрытий при испарении дают дополнительное количество газа, который увлекает за собой в шов пары металла и мелкие капли.

Коэффициент наплавки  $\alpha_n$  электродов с толстым покрытием обычно меньше коэффициента плавления, за исключением тех случаев, когда в покрытие входит большое количество металлических составляющих.

На  $\alpha_n$  и  $\alpha_p$  оказывают влияние полярность тока, тип соединения, положение шва в пространстве и т. д. Установлено, что род тока существенно их не изменяет. Исследования показали, что  $\alpha_n$  и  $\alpha_p$  будут иметь разные значения (при прочих равных условиях) при сварке электродами различных марок.

### 1.3 Назначение и характеристики исследуемых электродов

**ЭЛЕКТРОДЫ УОНИ 13/45.** Сварка особенно ответственных конструкций из углеродистых и низколегированных конструкционных сталей, когда к металлу швов предъявляют повышенные требования по пластичности и ударной вязкости. Сварка во всех пространственных положениях шва постоянным током обратной полярности обеспечивает получение металла швов с высокой стойкостью к образованию кристаллизационных трещин и низким содержанием водорода. Сварку производят только на короткой длине дуги по очищенным кромкам. Покрытие – основное толстое, номинальный коэффициент наплавки –  $9,5 \frac{г}{А \cdot ч}$ ; расход электродов на 1 кг наплавленного металла – 1,6кг. При  $d_э=4$ мм рекомендуемый ток сварки  $I_{св} = 160-210$ А.

**ЭЛЕКТРОДЫ ОЗС-4.** Сварка конструкций из углеродистых сталей с временным сопротивлением до 450 МПа во всех пространственных положениях переменным током и постоянным током обратной полярности. Позволяют производить сварку по окисленной поверхности, имеют производительность процесса до  $1,4 \frac{кг}{ч}$ . Допускается сварка удлиненной дугой.

Покрытие – рутиловое, номинальный коэффициент наплавки –  $9 \frac{\text{г}}{\text{А}\cdot\text{ч}}$ ; расход электродов на 1 кг наплавленного металла – 1,6 кг. При  $d_3=4$  мм рекомендуемый ток сварки  $I_{\text{св}} = 130-170$  А.

#### 1.4 Порядок выполнения работы

Определить коэффициенты плавления, наплавки и потерь на угар и разбрызгивание при наплавке валиков электродами разных марок на постоянном токе обратной полярности (4-5 значений токов по указанию преподавателя). Минимальный и максимальный исследуемые токи принять на 10-20А, соответственно ниже и выше рекомендуемых значений (п.п.1.3), остальные значения токов равномерно распределить внутри полученного диапазона. Необходимую величину тока устанавливать балластным реостатом. Для получения сопоставимых результатов в каждом из экспериментов наплавить на пластину валик, поддерживая одинаковую и стабильную длину дуги (3-4мм), и оставляя огарки небольшой, примерно одинаковой длины, учитывая, что в начальный момент сварки скорость плавления электродного стержня небольшая, но по мере разогрева электрода проходящим током скорость его плавления увеличивается.

Результаты измерений и расчетов занести в таблицу 1.

Таблица 1.1 – Результаты опытов

Мар-ка элект-рода	Результаты замеров							
	Длина		Масса распл. части электро-да, $G_p, \text{г}$	Сила тока, А	Время горения дуги, с	Масса образца, г		Масса напл. $M_e, G_{н}, \text{г}$
	до нап-лав-ки	после нап-лавки				до наплав-ки	после нап-лавки	

Таблица 1.2 – Результаты расчетов

Результаты расчетов			
$\alpha_p, \text{г/А}\cdot\text{ч}$	$\alpha_{н}, \text{г/А}\cdot\text{ч}$	$\Psi, \%$	$G, \text{кг/ч}$

Для определения массы расплавленной части электродного стержня воспользоваться формулой:

$$G_p = \frac{\pi d_3^2}{4} \cdot \gamma \cdot l, \quad (5)$$

где  $d_3$  – диаметр электродного стержня, см;

$\gamma = 7,81 \text{ г/см}^3$  – плотность металла стержня;

$l$  – длина стержня, см.

Перед взвешиванием наплавленного образца тщательно удалять шлак и брызги.

Для расчетов  $\alpha_p$ ,  $\alpha_n$ ,  $\psi$  и  $G$  воспользоваться формулами (1)-(4).

Для каждого из электродов построить функциональные зависимости  $\alpha_p=f(I_{св})$ ;  $\alpha_n=f(I_{св})$ ;  $\psi=f(I_{св})$ ;  $G=f(I_{св})$ .

### 1.5 Содержание отчета

- 1 Методика постановки опытов, краткие теоретические сведения, примеры расчетов.
- 2 Таблица замеров и результатов расчетов.
- 3 Выводы и объяснения полученных результатов.

### 1.6 Контрольные вопросы

- 1 От каких факторов зависит производительность электрической сварки плавящимся электродом?
- 2 Что характеризуют коэффициенты расплавления, наплавки, потерь, их единицы измерения и значения для основных марок электродов?
- 3 Почему коэффициент плавления в начале и конце плавления электрода разный?
- 4 Как влияет плотность тока на потери металла при ручной дуговой сварке?
- 5 В каких случаях коэффициент наплавки может оказаться больше коэффициента плавления?
- 6 Почему происходит изменение коэффициента потерь на угар и разбрызгивания при изменении длины дуги?
- 7 В чем принципиальное отличие коэффициентов  $\alpha_p$ ,  $\alpha_n$ ?

## Лабораторная работа № 2 (4 часа)

### ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАВЛЕНИЯ И ПЕРЕНОСА ЭЛЕКТРОДНОГО МЕТАЛЛА ПРИ СВАРКЕ В CO<sub>2</sub>

Цель работы: изучить влияние режима сварки на коэффициенты расплавления  $\alpha_p$ , наплавки  $\alpha_n$ , разбрызгивания  $\psi$  и производительность  $G$  при полуавтоматической сварке в среде углекислого газа.

#### 2.1 Необходимое оборудование и материалы

- 1) пост в составе полуавтомата А-1230, выпрямителя ВДГ-303, газовой аппаратуры;
- 2) весы лабораторные с разновесом;
- 3) секундомер;
- 4) зубило, молоток, металлическая щетка;
- 5) сварочная проволока 1,2 Св-08Г2С;
- 6) углекислота высшего или первого сорта баллонной поставки;
- 7) пластины из углеродистой стали 100x100 мм толщиной 3÷6 мм.

#### 2.2 Общие положения

Сварка в CO<sub>2</sub> является высокопроизводительным механизированным процессом, имеет относительно небольшую стоимость. Основной недостаток – разбрызгивание электродного металла. Вследствие наличия в дуговом промежутке атомарного кислорода в результате диссоциации CO<sub>2</sub>, имеющего большое сродство с электронами, нарушаются нормальные условия горения дуги при использовании переменного тока. Сварка на постоянном токе, как правило, осуществляется на обратной полярности («минус» – на изделии). При сварке плавящимся электродом большее тепловыделение происходит на катодном пятне дуги, что приводит к большему проплавлению основного металла (это особенно важно при сварке стыковых соединений) и уменьшению расхода проволоки. Прямую полярность применяют в случаях, когда необходимо получить большое количество наплавленного металла, например, наплавочные работы, заварка дефектов в литье. Сварка на прямой полярности характеризуется повышенным разбрызгиванием по сравнению с обратной.

Сила тока при сварке в CO<sub>2</sub> выбирается из допустимого диапазона плотности тока  $j$  в электроде, которая составляет 100÷300 А/мм<sup>2</sup> и обеспечивает устойчивый дуговой разряд при обратной полярности.

Плавление и перенос электродного металла через дуговой промежуток определяет технологические особенности способа и область его наиболее рационального применения.

Процесс плавления электрода определяется количеством тепла, выделенного на электроде  $q_э$ .

$$q_э = q_{эд} + q_{эв},$$

где  $q_{эд}$  – тепло, выделяемое дугой в активном пятне,

$q_{эв}$  – тепло, выделяемое в вылете электрода проходящим сварочным током.

Перенос металла может происходить в виде капель различных размеров и пара. При сварке в среде углекислого газа различают следующие основные виды переноса:

- крупнокапельный с короткими замыканиями разрядного промежутка,
- крупнокапельный без коротких замыканий,
- мелкокапельный.

Вид переноса и, соответственно, размеры капель определяются совместным действием силы веса  $F_T$ , отрывающей каплю (при сварке в нижнем положении), силы поверхностного натяжения  $F_{пн}$ , препятствующей отрыву и электродинамической силы  $F_{эд}$ , стремящейся сжать жидкую перемычку в месте перехода от твердого электрода к жидкой капле и направленной по радиусу оси сечения шейки капли по всему его периметру. Электродинамическая сила пропорциональна  $j^2$  и способствует отрыву капли. В целом можно сказать, что важнейшим параметром режима, определяющим размеры капель, является ток сварки  $I_{св}$ . Увеличение тока способствует уменьшению капель за счет электродинамических сил.

Рассмотрим, как влияет сварочный ток на характеристики переноса при обратной полярности. При токах, близких к минимальным, крупная капля на электроде образуется постепенно и долго удерживается на нем, процесс протекает с периодическими короткими замыканиями (1-й вид переноса). Во время короткого замыкания по достижении диаметра перемычки определенной величины происходит мгновенное испарение металла и выброс остатков капли с электрода. Доля потеряннного электродного металла  $\psi$  сравнительно невелика.

При повышении тока процесс протекает уже без коротких замыканий (2-й вид переноса), т. к. диаметр капли становится меньше длины дуги. Разбрызгивание при этом определяется в основном случайным вылетом за пределы шва крупных капель и систематическим выбросом мелких из ванны, что, в целом, увеличивает потери  $\psi$ .

Дальнейшее увеличение  $I_{св}$  приводит к улучшению процесса переноса металла из-за уменьшения и стабилизации размера капель (3-й вид переноса).

С увеличением силы тока увеличивается количество тепла, выделенное на торце электрода в анодном пятне. В результате характеристики  $\alpha_p$ ,  $\alpha_n$  и  $G$  также монотонно увеличивается.

### 2.3 Порядок выполнения работы

1 Пост подготовить к работе, произвести маркировку мелом и взвешивание пластин до наплавки с точностью до 1г.

2 Выполнить наплавочные валики при обратной полярности (ОП) на режимах в пределах уже упомянутых в п.2.3 плотностях тока  $j$ , настраивая пост на каждый из них. Для диаметра проволоки 1,2 мм это диапазон токов



$I_{св} 110 \div 330$  А. С учетом технической характеристики применяемого сварочного оборудования назначаем токи  $I_{св}$ :

- 1-й образец – 100 А,

- 2-й образец – 150 А,

- 3-й образец – 200 А,

- 4-й образец – 250 А,

- 5-й образец – 300 А,

- 6-й образец – выполнить наплавочный валик на одном из режимов на прямой полярности (ПП).

3 Длина расплавленной проволоки определяется как произведение числа оборотов ролика при наплавке (например 10) на длину его окружности (диаметр подающего ролика – 24 мм). Время наплавки фиксируется секундомером.

4 После тщательной очистки от брызг снова произвести взвешивание образцов.

5 Результаты экспериментов занести в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Результаты замеров

№ п/п, полярность	Ток сварки $I_{св}$ , А	Время сварки $t_{св}$ , с	Масса расплавленной проволоки $G_p$ , г	Масса пластины до наплавки $m_0$ , г	Масса пластины после наплавки $m_1$ , г	Масса наплавленного металла $G_H = (m_1 - m_0)$ , г

Для определения массы расплавленной проволоки воспользоваться формулой:

$$G_p = \frac{\pi d_3^2}{4} \gamma L,$$

где  $d_3$  – диаметр сварочной проволоки, см,

$\gamma = 7,8 \frac{г}{см^3}$  – плотность металла,

$L$  – длина расплавленной проволоки, см.

Для расчетов  $\alpha_p$ ,  $\alpha_n$ ,  $\psi$  и  $G$  воспользоваться формулами из работы № 1, свести результаты в таблицу 2.1.

## 2.4 Содержание отчета

1 Цель работы.

2 Краткие теоретические сведения.

3 Методика постановки опытов, примеры расчетов.

4 Таблицы замеров и результатов расчетов, графики.

$$\alpha_p = f(I_{св}); \alpha_n = f(I_{св}); \psi = f(I_{св}); G = f(I_{св}).$$

5 Выводы и пояснения полученных результатов, сравнение с литературными данными.

## 2.5 Контрольные вопросы

1 Чем объясняется технологическая разница сварки в  $CO_2$  на прямой и обратной полярности?

2 Объясните механизм действия электродинамических сил на формирование и отрыв капли.

3 Почему повышение сварочного тока приводит к уменьшению капель расплавленного металла?

4 При каком виде переноса имеет место наибольшее разбрызгивание?

5 Что происходит при коротком замыкании капли на изделие?

## Лабораторная работа № 3 (6 часов)

### ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ПРИЕМОВ РДС

Цель работы: определить степень эффективности штучными покрытыми электродами пучком (гребенкой) электродов, лежащим и наклонным электродами, ванной сваркой.

#### 3.1 Необходимое оборудование и материалы

- 1) многопостовой выпрямитель ВДМ-1601;
- 2) балластный реостат РБ-302;
- 3) весы лабораторные с разновесом;
- 4) секундомер;
- 5) линейка;
- 6) штатив;
- 7) электроды марки УОНИ 13/45 диаметром 4 и 5 мм;
- 8) пластины из низкоуглеродистой стали 200x100x6;
- 9) собранный образец для ванной сварки;
- 10) зубило, молоток, металлическая щетка.

## 3.2 Общие положения

Главным недостатком ручной дуговой сварки является сравнительно низкая производительность. Повышение производительности труда может быть достигнуто за счет двух групп мероприятий: организационных и технических.

К числу организационных мероприятий могут быть отнесены такие, как устройство пунктов питания сварочным током, позволяющим производить быстрое подключение и отключение проводов, рациональное устройство электрододержателя, позволяющего уменьшить время на смену электродов; применение механизированного инструмента для очистки кромок деталей и шва от шлака; приспособлений для быстрого поворота деталей в процессе сварки и некоторые другие. Наряду с организационными мероприятиями, направленными на увеличение производительности труда, большое значение имеет разработка технических мероприятий. Например, если пожертвовать универсальностью РДС и рассматривать узкоспециализированные задачи, в ряде случаев удастся достичь существенного повышения ее эффективности. С технологической точки зрения это сварка спаренным электродом (пучком электродов), ванная сварка, сварка лежачим электродом, сварка наклонным электродом. При этом последние два варианта можно считать автоматизацией процесса.

3.2.1 Сварка спаренными электродами (пучком электродов). Этот способ сварки заключается в одновременной работе двумя (спаренными) электродами, соединенными между собой путем наложения прихватки в месте зажима их в электрододержатель. Ток подводится одновременно ко всем электродам. Дуга горит между изделием и тем электродом, который находится в данный момент ближе к изделию.

Экономические преимущества сварки пучком электродов, по сравнению со сваркой одинарным электродом сечением, равным сечению одного электрода в пучке, заключается в том, что производительность сварки увеличивается примерно на 30% за счет повышения сварочного тока, уменьшения вспомогательного времени на смену электродов и лучшего использования тепла дуги.

К недостаткам сварки пучком электродов следует отнести практическую непригодность этого метода при вертикальной и потолочной сварке, а также сложность изготовления таких электродов.

3.2.2 Сварка лежачим электродом – дуговая сварка, при которой неподвижный плавящийся электрод укладывают вдоль свариваемых кромок, а дуга перемещается по мере расплавления электрода. Тавровое соединение сваривается в положении «в лодочку».

Дуга возбуждается между торцом электрода и свариваемым изделием дополнительным угольным электродом. После возбуждения дуга перемещается по длине электрода, постепенно расплавляя электрод и основной металл, образуя валик. Сварка лежачим электродом особенно удобна в

труднодоступных местах. При этом способе сварки длина покрытой части электрода принимается равной длине шва. Длина электрода может быть в пределах до 1200 мм, диаметр – до 8 мм. Толщина электродного покрытия несколько больше, чем при обычной электродуговой сварке плавящимся электродом. Сечение шва получается примерно равным сечению электрода.

Сварка лежачим электродом обеспечивает высокое качество металла шва, повышает производительность по сравнению с обычной ручной сваркой в 1,5-2 раза, благодаря возможности применения электродов большего диаметра при соответственном увеличении силы тока, уменьшает потери металла на угар и разбрызгивание. Кроме того, при сварке лежачим электродом сварщик (оператор) может обслуживать несколько постов.

Недостатками этого способа сварки является невозможность регулирования сечения валика при данном диаметре электрода, недостаточная глубина провара корня шва, трудность осуществления сварки криволинейных швов и сварки по прихваткам.

3.2.3 Сварка наклонным электродом – дуговая сварка, при которой плавящийся электрод расположен наклонно вдоль свариваемой кромки и, по мере расплавления, движется под действием силы тяжести или пружины.

Сварка наклонным электродом известна в двух разновидностях: с постоянным углом наклона, не меняющимся в процессе сварки, с меняющимся углом наклона.

В первом случае сварку ведут наклонным электродом с толстым покрытием под постоянным углом  $30-45^\circ$  к изделию. Нижний конец электрода с выступающим краем толстого покрытия опирается на свариваемое изделие, а верхний конец его закрепляется в электрододержателе, скользящем по направляющей обойме. Дуга возбуждается замыканием конца электрода на изделие угольным электродом. При плавлении электрода на его конце образуется козырек из обмазки, препятствующий короткому замыканию между электродом и изделием. По мере расплавления и опускания электрода образуется валик. Сечение шва регулируется изменением угла наклона электрода.

3.2.4 Ванная дуговая сварка плавящимся электродом характеризуется увеличенными размерами сварочной ванны, удерживаемой в специальной форме (стальная или из керамики). Стальную форму приваривают к сварному стыку, керамические формы делают разъемными, и после сварки удаляют.

Способ применяют при сварке стержневых изделий (например, железобетонной арматуры и рельсов). Сварку можно вести одним или несколькими электродами. Для ванной сварки пригодны электроды марок УОНИ. Сварку ведут на повышенных режимах, что обеспечивает необходимый нагрев свариваемых элементов для создания большой ванны из жидкого металла.

Сварку начинают в нижней части формы, в зазоре между торцами стержней. Электрод вначале передвигают вдоль зазора. В процессе сварки наплаваемый металл должен находиться в жидком состоянии.

### 3.3 Порядок выполнения работы

3.3.1 Собрать на прихватках (свободные от обмазки участки электродов) диаметром 5 мм (2 или 3 штуки), выдерживая их параллельность. Взвесить образец (пластину), произвести наплавку валика без поперечных колебаний, фиксируя время наплавки.

Ток наплавки предварительно подсчитать по формуле:

$$I_{св} = (20 \dots 30) \cdot n \cdot d_3, \quad (3.1)$$

где  $n$  – количество электродов в пучке,  
 $d_3$  – диаметр электродного стержня, мм.

Зачистить валик от шлака и образец от брызг металла, взвесить его и определить фактическую производительность сварки пучком по формуле:

$$G_p = \frac{(m_1 - m_0)3,6}{t}, \quad (3.2)$$

где  $m_1$  – масса образца после наплавки, г,  
 $m_0$  – масса исходной пластины, г,  
 $t$  – время наплавки, с.

Аналогично выполнить наплавку одиночным электродом того же диаметра, величину тока взять из паспорта на электроды, вычислить производительность  $G_1$ , оценить эффективность применения сварки пучком по увеличению производительности.

3.3.2 Взвесить образец с разделкой. Для сварки лежачим электродом уложить в разделку собранных кромок электрод диаметром 5 мм, отступив от края образца на 30÷40 мм, и вставив в электрододержатель, изолированный от сварочного стола. Электрод прижать к стыку валиком флюса толщиной 15-20 мм. Возбуждение дуги произвести угольным электродом, сила тока 200-240 А. Определить фактическую производительность сварки по формуле (3.2), оценить качество формирования шва.

3.3.3 Взвесить образец. Наклонный электрод диаметром 4 мм укрепить под углом ~ 45° в электрододержателе штатива, проверить свободу хода втулки электрододержателя по стойке. Сила тока устанавливается по паспорту на электрод. Зажигание дуги – угольным электродом. Оценку эффективности сделать в соответствии с п. 3.3.2.

3.3.4 Взвесить собранный на прихватках образец стыкового соединения стержней и заварить его электродом диаметром 5 мм на силе тока 220-250 А.

При этом касанием электрода о нижнюю часть торца стержня возбудить дугу и тщательно проплавить ее, добываясь некоторого количества жидкого металла. Перенести дугу на нижнюю часть торца другого стержня и также тщательно проплавить, заполнить плавильное пространство, перемещая электрод вдоль и поперек зазора. При подъеме уровня шлаковой ванны до верха формы, придать концу электрода круговые движения по спирали к центру. По окончании сварки периодическим замыканием дуги в центре шва предупредить образование подкорковых трещин. Оценить эффективность способа с позиций производительности  $G_B$  и трудоемкости по сравнению с РДС. Результаты замеров и расчетов свести в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Полученные результаты

№ опыта	Способ сварки	Диаметр электрода, $d_э$ , мм	Сварочный ток $I_{св}$ , А	Масса образца до сварки $m_0$ , г	Масса образца после сварки $m_1$ , г	Время сварки, с	Фактическая производительность, кг/час

### 3.4 Содержание отчета

- 1 Особенности технологии специальных приемов РДС.
- 2 Методика постановки опытов, их результаты, примеры расчетов.
- 3 Выводы и объяснения полученных результатов.

### 3.5 Контрольные вопросы

- 1 В каких практических случаях эффективно применение исследуемых способов?
- 2 Какие причины приводят к повышению производительности при сварке пучком электродов?
- 3 Как при сварке наклонным электродом изменить площадь наплавленного металла?
- 4 Какова роль флюса при сварке лежачим электродом?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4 (4 часа)

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА НА ФОРМИРОВАНИЕ ШВА ПРИ СВАРКЕ В $\text{CO}_2$

Цель работы: определение параметров режима сварки стыковых соединений при сварке в  $\text{CO}_2$ , соответствующая настройка сварочного оборудования и сварка образцов на расчетных режимах, оценка полученных количественных характеристик геометрии швов.

#### 4.1 Оборудование и материалы

- 1) пост полуавтоматической сварки в  $\text{CO}_2$  в составе:
  - полуавтомат типа А-1230М,
  - выпрямитель ВДГ-303,
  - газовая аппаратура,
- 2) штангенциркуль;
- 3) набор щупов;
- 4) проволока 1,2Св-08Г2С;
- 5) образцы из низкоуглеродистой стали размером 100x50 мм □ 6 шт.

#### 4.2 Расчет параметров режима сварки

Параметрами режима данного способа являются:

- диаметр электродной проволоки  $d_э$ , мм;
- ток сварки  $I_{св}$ , А;
- напряжение сварки  $U_d$ , В;
- скорость сварки  $V_{св}$ , м/час;
- скорость подачи электродной проволоки  $V_{п}$ , м/час;
- вылет электрода  $l_э$ , мм;
- расход защитного газа  $q_Г$ , л/мин.

В соответствии с ГОСТ 14771-76 в  $\text{CO}_2$  без разделки кромок сваривают детали толщиной ( $S$ ) до 10 мм. При этом односторонний шов (соединение С<sub>2</sub>) и двусторонний симметричный шов (соединение С<sub>7</sub>) должны отвечать конструктивным элементам подготовленных кромок, размерам выполненных швов и их предельным отклонением (рисунок 4.1 а и рисунок 4.1 б) (при толщине свариваемых образцов 5-6 мм).

1 Глубину провара  $H_{пр}$  при односторонней сварке выбирают в пределах  $H_{пр}=(0,7-0,8)S$ , где  $S$  – толщина свариваемых деталей (мм), а при двусторонней  $H_{пр}=0,6S$ . Применяемая в экспериментальной части работы проволока  $d_э=1,2$ мм может использоваться для  $S=(0,8-14)$ мм.

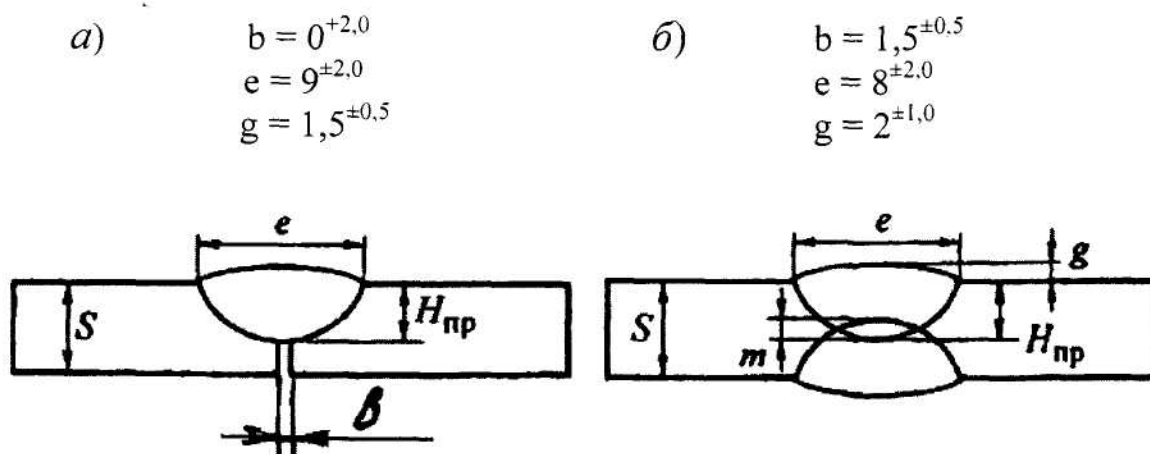
## 2 Определение сварочного тока:

(4.1)

$$I_{св} = \frac{H_{np}}{K_a} \cdot 100, A$$

где  $K_a$  – коэффициент, зависящий от диаметра сварочной проволоки (при  $d_э = 1,2$  мм  $K_a = 2,1$  мм/А).

3 Вылет электрода ( $l_э$ ) влияет на стабильность процесса и формирование шва. С увеличением вылета возрастает разбрызгивание, при малом – увеличивается набрызгивание на сопло, затрудняется наблюдение за процессом. Вылет  $l_э$  устанавливают опытным путем в зависимости от  $d_э$ . При  $d_э = 1,2$  мм  $l_э = (8-15)$  мм.



а) С2; б) С7

Рисунок 4.1 – Геометрические характеристики стыков и швов соединений

4 Напряжение дуги  $U_d$  влияет на коэффициент формы валика  $\psi_B$  и, с учетом многочисленных табличных сведений и расчетных формул, может изменяться в широких пределах. В данном случае, величина  $U_d$  определяется типом применяемого источника питания и составляет при  $I_{св} = (100-220)$  А (20-24) В (определяется по показаниям вольтметра).

5 Скорость подачи электродной проволоки  $V_{п}$  при стабильном протекании дугового процесса должна быть равна скорости ее плавления  $V_{пл}$ , которая, в свою очередь, зависит от сварочного тока  $I_{св}$ , диаметра электрода  $d_э$  и коэффициента расплавления  $\alpha_p$  (г/А·час):



$$V_n = \frac{4 \alpha_p \cdot I_{св}}{\pi d_s^2 \gamma} \left( \frac{м}{час} \right) \quad (4.2)$$

где  $\gamma = 7,81 \text{ г/см}^3$  – плотность металла проволоки.

Значения коэффициента расплавления могут быть рассчитаны по формуле:

$$\alpha_p = 3,0 + 0,08 \frac{I_{св}}{d_s}, \frac{г}{А \cdot час} \quad (4.3)$$

6 Скорость сварки  $V_{св}$  при полуавтоматическом варианте процесса используется для нормирования трудоемкости сборочно-сварочных работ и по техпроцессу не устанавливается. Она задается оператором-сварщиком визуально по признаку номинальных характеристик формирования шва (требуемого катета углового и ширине стыкового). Если шов стандартный, расчетную скорость сварки можно определить из выражения:

$$V_{св} = \frac{\alpha_n \cdot I_{св}}{F_n \cdot \gamma}, \left( \frac{м}{час} \right) \quad (4.4)$$

где  $\alpha_n$  – коэффициент наплавки, г/А час;

$F_n$  – площадь наплавленного металла,  $\text{мм}^2$ .

Значения  $\alpha_n$  определяются по формуле:

$$\alpha_n = \alpha_p \left( 1 - \frac{\psi}{100} \right), \quad (4.5)$$

где  $\psi(\%)$  – коэффициент потерь на угар и разбрызгивание. При сварке в  $\text{CO}_2$  он может быть принят равным 10-15%.

7 Удельный расход защитного газа  $q_g$  и расстояние от сопла до изделия определяется диаметром электродной проволоки и при  $d_{э}=(1-1,4)\text{мм}$  соответствует (8-16) л/мин и (8-14) мм соответственно.

Результаты расчетов должны быть представлены в виде таблицы 4.1.

Таблица 4.1 – Режимы сварки

Тип соедин.	$H_{нр}$ , мм	$I_{св}$ , А	$l_{э}$ , мм	$U_{д}$ , В	$V_{п}$ , м/час	$\alpha_p$ , г/А час	$V_{св}$ , м/час	$\alpha_n$ , г/А час	$q_g$ , л/мин
С2									
С7									

## 4.2 Экспериментальная часть

Как следует из формулы (4.2), в конечном итоге, требуемая скорость подачи электродной проволоки целиком зависит от величины  $I_{св}$ . Поэтому предварительно подобраны несколько настроек источника питания (на пульте дистанционного управления для второй ступени напряжений) и скорости подачи проволоки (резистором плавной регулировки), которые обеспечивают наиболее устойчивой сварочный процесс с минимальным разбрызгиванием.

Образцы с выводными планками предварительно собираются на прихватках с зазорами в пределах приведенных допусков. При наплавке пробных валиков осуществляют дополнительную корректировку режима по  $I_{св}$  согласно расчетам и заваривают исследуемые стыки, выдерживая, по возможности, характеристики валика  $e$  и  $g$ , с выводом дуги на планку. После отделения планки снимают все характеристики провара и валика, а также сравнивают их с ожидаемыми расчетными и требуемыми по ГОСТ 14771-76 значениями.

При этом для определения формы провара используют формулу:

$$\psi_{np} = \frac{e}{H_{np}} = K(19 - 0,01 \cdot I_{св}) \frac{d_{э} \cdot U_d}{I_{св}}, \quad (4.6)$$

где  $K = 0,92$  при плотности тока обратной полярности  $j > 120 \text{ А/мм}^2$ .

Оптимальные значения формы провара  $0,8 < \psi_{np} < 4$ , а валика –

$$7 \leq \psi_v = e/g \leq 10.$$

Площадь наплавленного металла:

$$F_n = 0,73 \cdot e \cdot g + b \cdot H_{np}, \text{ мм}^2 \quad (4.7)$$

Результаты отражают в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Геометрические параметры сварных швов

Значения	Тип соединения	$e$ , мм	$g$ , мм	$H_{np}$ , мм	$\Psi_{np}$	$\Psi_v$	$F_n$ , мм <sup>2</sup>
Экспериментальные (фактические)	C2						
	C7						
В соответствии с ГОСТ 14771-76	C2						
	C7						
По литературным рекомендациям	C2						
	C7						

После сопоставительного анализа параметров соединений делаются выводы о приемлемости применяемой технологии сварки или, в случае необходимости, ее корректировке.

### Лабораторная работа № 5 (4 часа)

## ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ СВАРКИ И СВАРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ГЕОМЕТРИЮ, ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ШВА

Целью работы является определение зависимости глубины проплавления  $H_{пр}$ , ширины шва  $e$ , высоты усиления  $g$  и доли электродного металла в металле шва, от скорости сварки. Ознакомление с методикой расчета химического состава металла шва и определение его механических свойств.

### 5.1 Оборудование и материалы

- 1) пластины из низкоуглеродистой стали 200x80x10 – 2 шт,
- 2) флюс АН – 348А,
- 3) сварочная проволока Св–08А или Св–08ГА диаметром 3 мм,
- 4) сварочный трактор АДС – 1000 – 4,
- 5) штангенциркуль,
- 6) линейка.

Форма шва и его размеры (рисунок 5.1) при дуговой сварке характеризуются глубиной провара  $H_{пр}$ , шириной шва  $e$ , усилением  $g$ , толщиной шва  $H$ , коэффициентом формы усиления  $\varphi_B = \frac{1}{g}$ , и коэффициентом формы провара  $\varphi_{пр} = \frac{1}{H_{пр}}$ .

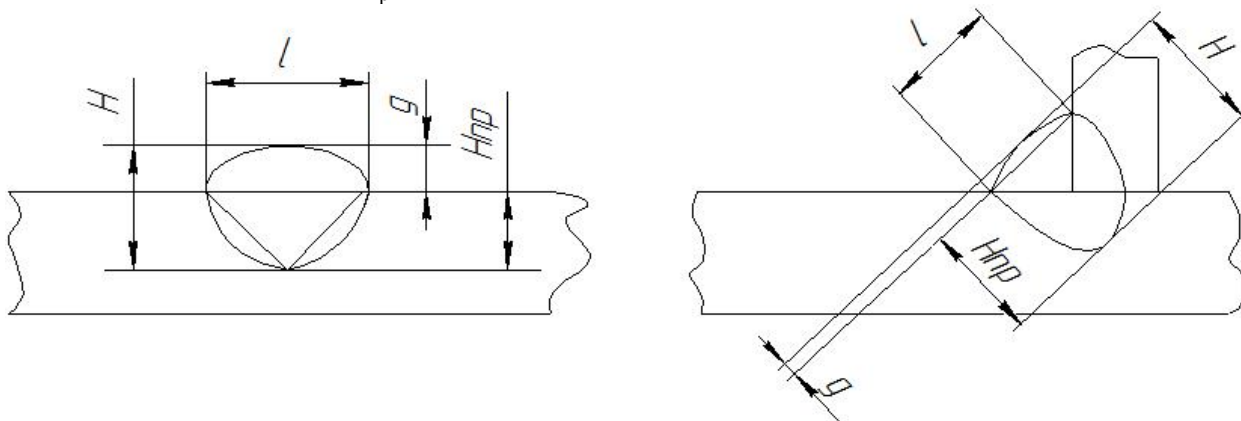


Рисунок 5.1 – Параметры геометрии стыкового и углового швов

От формы шва и его размеров в значительной степени зависит его стойкость против образования кристаллизационных трещин, плавность перехода от основного металла к металлу шва, образование дефектов формирования шва (непровары, подрезы, наплывы и др.).

Форма и размеры шва не зависят от вида соединения, а, в основном, определяются режимом сварки. Режимом сварки называют совокупность факторов, определяющих условия протекания процесса сварки. Сами факторы называют элементами режима сварки.

Элементы режима сварки можно разделить на основные и второстепенные. К основным элементам режима при дуговой сварке относят: ток в А, род и полярность тока, сечение электрода в мм, напряжение в В, скорость сварки в м/ч и, при ручной дуговой сварке, величина поперечного перемещения конца электрода в мм.

К второстепенным элементам режима при всех способах дуговой сварки относят: величину вылета электрода в мм, состав и строение флюса или состав и толщину покрытия, начальную температуру основного металла, положение электрода в пространстве (вертикальное, наклонное) и положение изделия при сварке.

Рассмотрим влияние некоторых элементов режима сварки на изменение формы, размеров и состава шва.

#### 1 Сварочный ток.

Увеличение сварочного тока приводит к увеличению эффективной тепловой мощности дуги  $q$ , вследствие чего увеличивается глубина проплавления, количество расплавленного основного металла и электродного металла. Расплавление основного металла идет более интенсивно. В результате этого доля основного металла в металле шва увеличивается. Доля электродного металла в металле шва – это отношение площади наплавленного металла ( $F_{эл.}$ ) к сумме площадей проплавленного и наплавленного металла ( $F_{пр.}+F_{эл.}$ ), т. е.

$$\gamma_{эл.} = \frac{F_{эл.}}{F_{пр.}+F_{эл.}}. \quad (5.1)$$

#### 2 Напряжение на дуге.

Изменение напряжения на дуге вызывает незначительное изменение глубины провара и значительное изменение ширины шва. Увеличение напряжения приводит к уменьшению доли электродного металла в мм. Уменьшение напряжения – к увеличению доли электродного металла в металле шва.

### 3 Род и полярность тока.

При сварке постоянным током обратной полярности глубина проплавления на 40-50 % больше, чем при сварке на прямой полярности. При сварке переменным током глубина проплавления на 15-20% ниже, чем при сварке постоянным током обратной полярности. Ширина шва при сварке током на прямой полярности уменьшается по сравнению со сваркой постоянным током на обратной полярности, так же и по сравнению со сваркой переменным током. Доля электродного металла в металле шва при сварке током обратной полярности ниже, чем при сварке на прямой полярности и при сварке переменным током на тех же режимах, что и в первом случае.

### 4 Скорость сварки.

При изменении скорости сварки глубина провара изменяется незначительно.

Ширина шва при увеличении скорости сварки уменьшается, а при уменьшении скорости сварки ширина шва увеличивается.

## 5.2 Расчет химического состава металла шва

Зная доли основного и электродного металла в металле шва при сварке под флюсом и учитывая взаимодействие металла сварочной ванны с газовой фазой и шлаком, можно определить расчетный химический состав металла шва.

Содержание элементов в металле шва определяются по формуле:

$$[R_{ш}] = \gamma_{эл.}[R_{эл.}] + (1 - \gamma_{эл.})[R_0] \pm \Delta R, \quad (5.2)$$

где  $[R_{ш}]$  – расчетное содержание элемента в металле шва, в %;

$[R_0]$  – аналитическое содержание элемента в основном металле, в %;

$[R_{эл.}]$  – аналитическое содержание элемента в электродной проволоке, в %;

$\gamma_{эл.}$  – доля электродного металла в металле шва;

$\Delta R$  – коэффициент усвоения, определяющий переход данного элемента из составляющих флюса в металл шва (+) или из металла шва в окружающую среду или шлак (-).

Значения величин  $[R_0]$ ,  $[R_{эл.}]$  и  $\Delta R$  приведены в таблицах 5.1, 5.2, 5.3.

Таблица 5.1 – Химический состав стали [R<sub>o</sub>]

Марка стали	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	As
ВСт 3сп	0.14-0.22	0.40-0.65	0.12-0.30	≤ 0.04	≤ 0.05	≤ 0.30	≤ 0.30	≤ 0.30	≤ 0.08
20Г	0.17-0.24	0.70-1.00	0.17-0.37	≤ 0.04	≤ 0.04	≤ 0.25	≤ 0.25	-	-
09Г2С	≤ 0.12	1.30-1.70	0.50-0.80	≤ 0.035	≤ 0.040	≤ 0.30	≤ 0.30	≤ 0.30	-
15ХСНД	0.12-0.18	0.40-0.70	0.40-0.70	≤ 0.35	≤ 0.040	0.60-0.90	0.30-0.60	0.20-0.40	-

Таблица 5.2 – Химический состав сварочной проволоки [R<sub>эл.</sub>]

Марка проволоки	C	Mn	Si	Cr	Ni	S	P	Mo
Св-08	≤ 0.10	0.35-0.60	≤ 0.03	≤ 0.15	≤ 0.30	≤ 0.040	≤ 0.040	-
Св-10ГА	≤ 0.12	1.10-1.40	≤ 0.03	≤ 0.20	≤ 0.30	≤ 0.025	≤ 0.030	-
Св-10НМА	0.07-0.12	0.40-0.70	0.12-0.35	≤ 0.20	1.00-1.50	≤ 0.025	≤ 0.020	0.40-0.55

Таблица 5.3 – Значения коэффициентов усвоения при сварке под флюсом АН – 348А [ΔR]

Значение, в %			
ΔMn	ΔSi	ΔS	ΔP
+(0.17-0.16)	+(0.12-0.13)	-(0.03-0.35)	+0.08

### 5.3 Методика определения механических свойств

Многочисленными экспериментами установлено, что в довольно широком диапазоне легирование различными элементами вызывает изменение механических свойств металла шва пропорционально концентрации легирующих элементов, и что при комплексном их легировании действие всех элементов подчиняется закону аддитивности. На основании экспериментальных данных составлены эмпирические формулы для определения ожидаемых механических характеристик металла сварных легированных швов в следующем виде:

- для предела прочности шва, кгс/мм<sup>2</sup>:

$$\sigma_{в.ш.} = 4,8 + 50C + 25,2Mn + 17,5Si + 23,9Cr + 7,7Ni + 70Ti + 8W + 17,6Cu + 29Al + 16,8Mo, \quad (5.3)$$

- для относительного удлинения металла шва, %:

$$\delta_{ш.} = 50,4 - [21,8C + 15Mn + 49Si + 2,4Ni + 5,8Cr + 6,2Cu + 2,2W + 6,6Ti] + 17,1Al + 2,7Mo, \quad (5.4)$$

- для ударной вязкости шва при T=200С, кгс/см<sup>2</sup>:

$$a_{н.ш.} = 23,3 - [25,7C + 6,4Mn + 8,4Si + 4Cu + 0,5W + 1,4Mo + 2,4Cr + 1,6Ni + 15,4Ti] + 18Al, \quad (5.5)$$

-для предела текучести металла шва, кгс/мм<sup>2</sup>:

$$\sigma_{т.ш.} = 0,73 G_{в.ш.}, \quad (5.6)$$

- для относительного поперечного сужения:

$$\psi_{ш.} = 2,32\delta_{ш.} \quad (5.7)$$

Эти формулы справедливы при условии, что суммарная концентрация всех легирующих элементов не превышает 5% и скорость охлаждения металла шва не превышает 20С/с.

#### 5.4 Методика выполнения работы

1 Собрать на прихватках ручной дуговой сваркой без зазора пластины и наплавить валики поперек сборки на трех режимах, отличающихся скоростью сварки  $V_{св.}$  (по указанию преподавателя), каждый следующий валик накладывать на охлажденную поверхность.

2 Используя высокую концентрацию напряжений в корне шва, разрушить сборку ударным изгибом, располагая её на 2-х опорах.

3 С помощью штангенциркуля и линейки измерить глубину провара  $H_{пр.}$ , ширину  $e$  и усиление  $g$  валика.

4 Определить площадь наплавленного (электродного) металла  $F_{эл.}$ , площадь провара  $F_{пр}$  по формулам:

$$F_{эл} = 0,73 e g, \quad (5.8)$$

$$F_{пр} = 0,73 \cdot H_{пр} \cdot e. \quad (5.9)$$

и долю электродного металла в металле шва  $\varphi_{эл.}$ . По полученным результатам построить графики изменения  $H_{пр}$ ,  $l$ ,  $g$  и  $F_{эл} = f(V_{св.})$ .

5 С учетом практической идентичности теплофизических свойств низкоуглеродистых и низколегированных конструкционных сталей рассчитать химический состав и определить ожидаемые механические свойства металла шва, используя данные таблиц 2.1 и 2.2 в комбинации марок основного и электродного металлов по заданию преподавателя.

6 В выводах оценить равнопрочность основного металла и металла шва, соответствия их остальных механических характеристик, используя данные таблицы 5.4.

Таблица 5.4 – Механические свойства сталей

Марка стали	$\sigma_B, \frac{\text{КГ}}{\text{ММ}^2}$	$\delta, \%$	$a_n, \frac{\text{КГ}\cdot\text{М}}{\text{СМ}^2}$	$\sigma_T, \frac{\text{КГ}}{\text{ММ}^2}$	$\psi, \%$
ВСт 3сп	38-49	26	7	25	-
20Г	42	25	-	25	55
15ХСНД	49	21	8.1	34	-
09Г2С	46.1-49.0	21	6.4	32.4	55

### 5.5 Контрольные вопросы

- 1 Что такое режим сварки?
- 2 От чего зависит форма и размеры шва?
- 3 Как влияет сварочный ток на геометрию шва?
- 4 Как влияет напряжение на геометрию шва?
- 5 Как влияет скорость сварки на геометрию шва?
- 6 Как влияет род и полярность на геометрию шва?
- 7 Как влияет угол наклона электрода на геометрию шва?
- 8 Как влияет положение свариваемого изделия на геометрию шва?
- 9 Какие химические элементы в большей степени оказывают влияние на предел прочности шва, на относительное удлинение, на ударную вязкость?

### Лабораторная работа № 6 (6 часов)

#### РАСЧЕТ РЕЖИМОВ И ИХ ПРОВЕРКА ПРИ СВАРКЕ ПОД ФЛЮСОМ

Целью работы является освоение методики расчета режимов автоматической сварки под флюсом.

#### 6.1 Оборудование и материалы

- 1) пластины из низкоуглеродистой стали 200x100x10 - 2шт,
- 2) флюс АН-348А,
- 3) сварочная проволока ЗСв-08,



- 4) сварочный автомат АБСК-У4,
- 5) штангенциркуль,
- 6) линейка.

## 6.2 Расчет параметров режима

Основные параметры режима механизированной сварки под флюсом, оказывающие существенное влияние на размеры и форму швов: сила сварочного тока  $I_{св}$ ; плотность тока в электроде  $j$ ; напряжение дуги  $U_d$ ; скорость сварки  $V_{св}$ ; скорость подачи проволоки  $V_{п}$ ; род тока и его полярность.

При определении режима сварки необходимо выбрать такие его параметры, которые обеспечат получение швов заданных размеров, формы и качества.

При двухсторонней сварке стыковых соединений с симметричными односторонними швами требуемая глубина провара ( $H'_{пр}$ ) может определяться условием:

$$H'_{пр} = \frac{S}{2} + (1 \div 3), \text{ мм}, \quad (6.1)$$

где  $S$  – толщина свариваемых деталей, мм.

Однако, это условие недостаточное для определения качества шва. Чтобы швы обладали высокой технологической и эксплуатационной прочностью, необходимо получить определенные значения и других размеров шва, а именно, его ширины ( $e$ ) и высоты валика ( $g$ ). Для автоматической сварки под флюсом значение коэффициента формы провара  $\psi_{пр} = \frac{e}{H'_{пр}}$  должно находиться в интервале  $0,8 \leq \psi_{пр} \leq 4$ . При меньшем значении будут получаться швы, склонные к образованию горящих трещин, при большем – теряется рациональность использования тепла дуги. Аналогично для валика необходимый диапазон коэффициента формы усиления составляет  $7 \leq (\psi_v = \frac{e}{g}) \leq 10$ .

Сварочный ток, обеспечивающий требуемое проплавление, может быть определен из выражения:

$$I_{св} = \frac{H'_{пр}}{K_h} \cdot 100, \quad (6.2)$$

где  $K_h$  – коэффициент пропорциональности, величина которого зависит от условий проведения сварки (таблица 6.1).

Таблица 6.1 – Значения  $K_h$  в зависимости от условий проведения сварки (флюс АН-348)

Диаметр эл. проволоки, мм.	$K_h, \frac{\text{мм}}{100\text{А}}$		
	Переменный ток	Постоянный ПП	Постоянный ОП
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	-	-

Диаметр проволоки  $d_3$  определяется допустимыми плотностями тока  $j$  из условия устойчивого протекания процесса сварки:

$$d_3 = 1,13 \sqrt{\frac{J_{\text{св}}}{j}}. \quad (6.3)$$

Данные для расчета отображены в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Допускаемые плотности тока

$d_3, \text{мм}$	2	3	4	5	6
$j, \text{А/мм}^2$	65÷200	45÷90	35÷60	30÷50	25÷45

Для сохранения геометрического подобия сварочной ванны необходимо, чтобы коэффициент формы ванны оставался неизменным. При этом, согласно теории распространения теплоты, произведение  $J_{\text{св}} \cdot V_{\text{св}}$  должно поддерживаться в определенных пределах, что позволяет использовать эмпирическое выражение:

$$V_{\text{св}} = \frac{A}{J_{\text{св}}}, \quad (6.4)$$

где  $A$  – коэффициент, значения которого приведены в таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Значения коэффициента А

$d_э, \text{мм}$	2	3	4	5	6
$A, \frac{\text{А} \cdot \text{м}}{\text{ч}}$	$(8 \div 12) \cdot 10^3$	$(12 \div 16) \cdot 10^3$	$(16 \div 20) \cdot 10^3$	$(20 \div 25) \cdot 10^3$	$(25 \div 30) \cdot 10^3$

Для принятого диаметра электрода и силы сварочного тока определяется оптимальное напряжение дуги с точки зрения устойчивости дугового разряда.

$$U_d = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{d_э}} \cdot I_{св} \pm 1, \text{ В.} \quad (6.5)$$

### 6.3 Определение геометрических параметров шва

Величина  $\psi_{пр}$  зависит, главным образом, от сварочного тока и напряжения на дуге. Как показали результаты экспериментального определения, коэффициент формы провара мало зависит от скорости сварки и в диапазоне скоростей, обычно применяемых при одnodуговой автоматической сварке под флюсом, приближенно можно принять, что  $\psi_{пр}$  от скорости сварки не зависит.

На рисунке 6.1 приведены зависимости  $\psi_{пр}$  от величины сварочного тока и напряжения на дуге.

Зная  $I_{св}, d_э, U_d$  по номограммам рисунка 6.1, находим величину коэффициента проплавления  $\psi_{пр}$ .

Фактическая глубина проплавления  $H_{пр}$  (при сварке бескосного соединения) рассчитывается по формуле:

$$H_{пр} = 0,0156 \sqrt{\frac{q}{\psi_{пр} \cdot V_{св}}}, \quad (6.6)$$

где  $q = 0,24 \cdot I_{св} \cdot U_d \cdot h_{и}$  – эффективная тепловая мощность дуги, кал/с;

$V_{св}$  – скорость сварки, см/с;

$h_{и}$  – эффективный КПД нагрева изделия (для сварки под флюсом АН-348А  $h_{и} = 0,7 \div 0,8$ ).

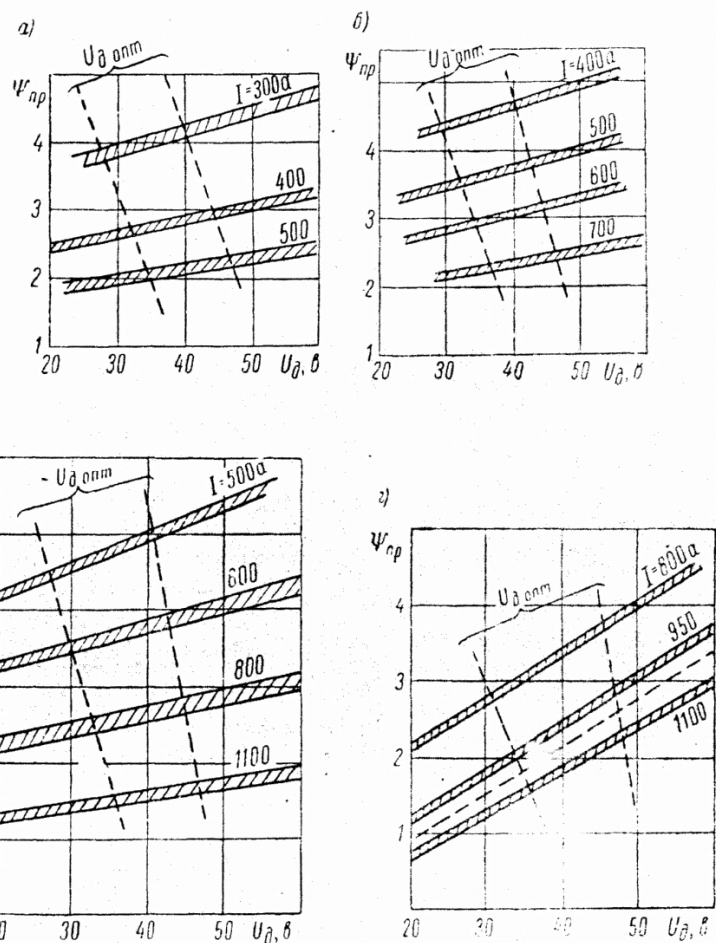


Рисунок 6.1 – Зависимости  $\Psi_{пр}$  от величины сварочного тока и напряжения на дуге. Ток переменный. Флюс марки АН-348А

а –  $d_{эл} = 3$  мм; б –  $d_{эл} = 4$  мм; в –  $d_{эл} = 5$  мм; г –  $d_{эл} = 6$  мм.

Зная глубину провара, можно определить ширину шва как:

$$e = \Psi_{пр} \cdot H_{пр} \quad (6.7)$$

Площадь наплавки  $F_H$  может быть определена согласно уравнению:

$$F_H = \frac{\alpha_H \cdot I_{св}}{100 \cdot \gamma \cdot V_{св}} \quad (6.8)$$

где  $F_B$  – площадь валика, см<sup>2</sup>;

$V_{св}$  – скорость сварки, м/час.

Опытные данные показывают, что в диапазоне режимов автоматической сварки, обеспечивающем удовлетворительное формирование швов,  $F_B$  изменяется в узких пределах и может быть принято равным 0,73.

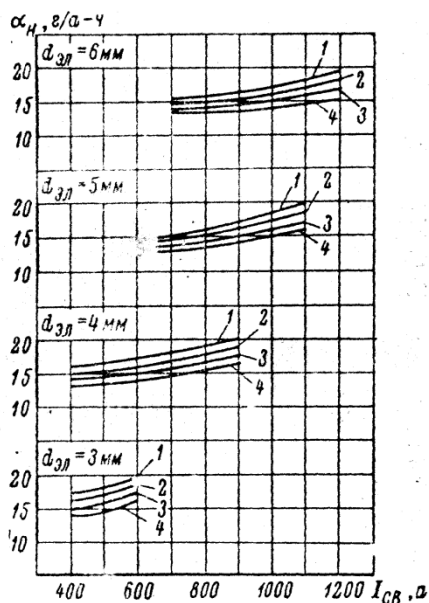


Рисунок 6.2 – Зависимость коэффициента наплавки  $\alpha_n$  от параметров режимов сварки

1 –  $U_d = 32\text{В}$ ; 2 –  $U_d = 36\text{В}$ ; 3 –  $U_d = 40\text{В}$ ; 4 –  $U_d = 44\text{В}$

$\gamma$  – плотность стали  $\left(7,8 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}\right)$ ;

$\alpha_n$  – коэффициент наплавки  $\frac{\text{г}}{\text{А}\cdot\text{час}}$ .

Для расчета высоты валика (усиления) используем выражение:

$$g = \frac{F_n}{\mu_b \cdot e}, \quad (6.9)$$

где  $\mu_b$  – коэффициент полноты валика.

Далее определяется  $\psi_b$  и  $\psi_{пр}$  и полученные результаты сравниваются с допустимыми значениями этих параметров. Если  $\psi_b < 7$ , необходимо делать разделку, чтобы убрать в нее излишнее количество наплавленного металла. При этом следует иметь в виду, что при разделке глубина провара, определенная по формуле (3.6), изменяется, что следует учитывать при дальнейшем ходе расчета. В то же время, известно, что профиль провара при одном режиме остается практически неизменным независимо от типа шва.

Тип шва, зазоры и разделка влияют, главным образом на соотношение долей основного и наплавленного металла, а контур провара во всех случаях практически одинаков (рисунок 6.3).

Установлено, что при неизменном режиме общая высота шва остается постоянной ( $(H = H_{пр} + g) = \text{const}$ ) как при наплавке, так и при сварке в стык без разделки и с разделкой кромок, а также при сварке угловых швов, что позволяет при сварке на рассчитанном режиме пересчитывать соотношения.

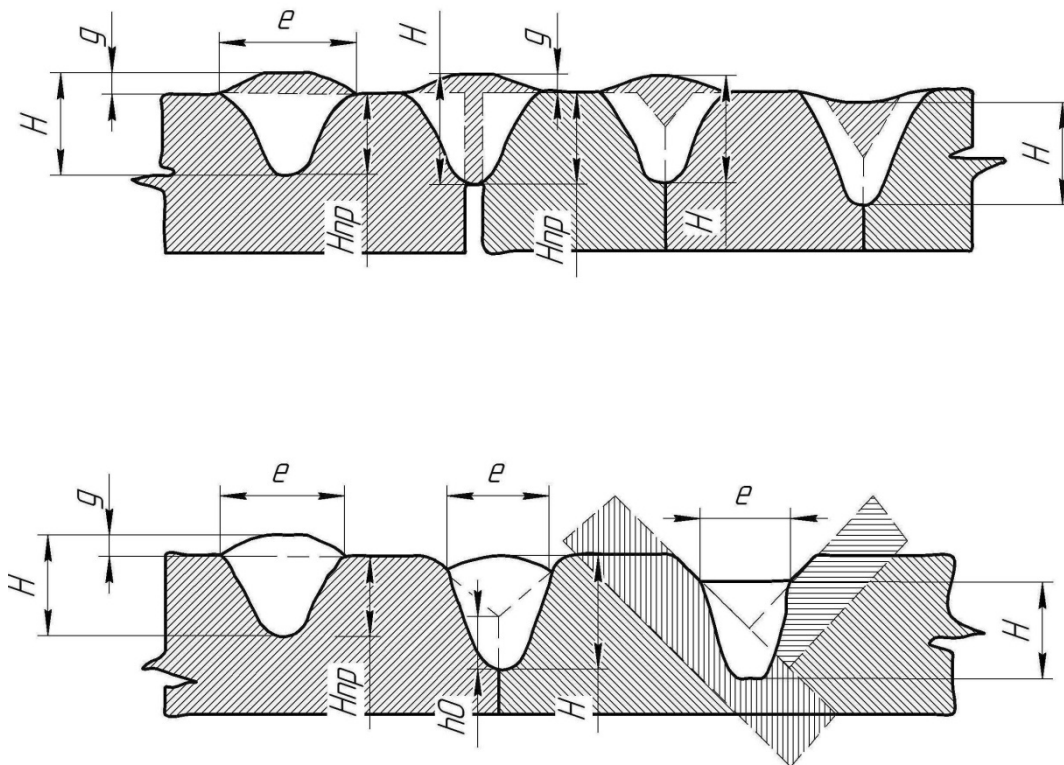


Рисунок 6.3 – Влияние типа шва, зазоров и разделки на профиль провара между основными размерами шва.

При этом сначала находят площадь разделки:

$$F_{пр} = f^2 \cdot \text{tg} \frac{\alpha}{2}, \quad (6.10)$$

где  $f$  – глубина разделки;

$\alpha$  – угол разделки.

Тогда площадь валика при разделке будет  $F_v = F_n - F_p$ , откуда, согласно формуле (6.9), можно посчитать высоту валика при сварке с разделкой и, имея в виду, что  $H = \text{const}$ , можно определить и фактическую глубину провара  $H_{пр}$ . Аналогично можно определить конфигурацию шва при стыковой сварке с зазором  $\alpha$ , учитывая, что площадь наплавленного металла в зазоре  $F_3 = H_{пр} \cdot \alpha$ .

## 6.4 Экспериментальная часть

- 1 Подобрать необходимые сварочные материалы.
- 2 Собрать на прихватках пластины без зазора.
- 3 Настроить сварочный автомат на полученные расчетом параметры режима сварки.
- 4 Наплавить валик поперек стыка.
- 5 Разрушить образец по стыку ударным изгибом.
- 6 Замерить все геометрические характеристики наплавленного валика и проплавленной части.
- 7 Сопоставить полученные результаты с расчетными, оформить их в виде таблицы.
- 8 Сделать выводы.

## 6.5 Контрольные вопросы

- 1 Какие параметры шва рассчитываются по предложенным методикам?
- 2 Какие параметры режима сварки рассчитываются по предложенным методикам?
- 3 Какие параметры режима сварки задаются?
- 4 Какие параметры режима сварки не рассчитываются по предложенным методикам?

Давыдов Александр Константинович

## ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ ПЛАВЛЕНИЕМ

Методические указания  
к выполнению лабораторных работ  
для студентов направления 15.03.01 «Машиностроение»  
направленности «Оборудование и технология сварочного производства»

Редактор Н. Н. Погребняк

---

Подписано в печать 17.01.19	Формат 60x84 1/16	Бумага тип. 65 г/м <sup>2</sup>
Печать цифровая	Усл. печ. л. 2,0	Уч.-изд. л. 2,0
Заказ 16	Тираж 25	Не для продажи

---

БИЦ Курганского государственного университета.  
640020, г. Курган, ул. Советская 63/4.  
Курганский государственный университет.