

Федеральное агентство по образованию РФ




Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
Томский политехнический университет

---

УТВЕРЖДАЮ

Декан МСФ

 Р.И. Дедюх

« 19 » сентября 2005г.

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СВАРКИ  
ПЛАВЛЕНИЕМ И ДАВЛЕНИЕМ**

раздел "Технологические основы сварки плавлением"

методические указания к выполнению лабораторных работ  
для студентов направления 150400  
"Технологические машины и оборудование"

ТОМСК 2005

УДК 621.791.75

Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу "Технологические основы сварки плавлением и давлением", раздел " Технологические основы сварки плавлением ", для студентов направления 150400 "Технологические машины и оборудование". Томск, тип. ООО «РаумШ мбХ», 2005. - 31с.

Составитель Е.А.Трущенко

Рецензент: доцент, к.т.н. Р.И.Дедюх

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию методическим семинаром кафедры «Оборудование и технология сварочного производства» «16» сентября 2005 г.

Зав.кафедрой ОТСП



Б.Ф.Советченко

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

### Коэффициент расплавления, наплавки, потерь на угар и разбрызгивание, производительность сварки

#### 1.1. Цель работы

Изучить влияние рода и силы тока, марки электродов на коэффициенты расплавления и наплавки, потерь на угар и разбрызгивание, определить производительность при ручной наплавке.

#### 1.2. Общие положения

На производительность процесса электродуговой сварки влияют следующие факторы: 1 - сварочный ток; 2 - коэффициент расплавления  $\alpha_p$ ; 3 - коэффициент наплавки  $\alpha_n$ , который обычно меньше  $\alpha_p$ , так как не весь расплавленный электродный металл переходит в шов: часть его выгорает, часть разбрызгивается.

Потери металла на угар и разбрызгивание, а также значения коэффициентов расплавления и наплавки зависят от величины сварочного тока. 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 капле, а значит, к повышению потерь на угар и разбрызгивание.

На значения  $\alpha_n$  и  $\alpha_p$ , на потери от угара и разбрызгивания влияют количество тех или иных примесей в электродном металле и электродном покрытии, а также температура стержня электрода. В начальный момент сварки скорость плавления электродного металла небольшая, но по мере разогрева, электрода Джоулевым теплом, при прохождении по нему тока, скорость его плавления увеличивается в два раза, т.е. на 100 и более % при значительных плотностях тока. При этом увеличиваются  $\alpha_n$  и  $\alpha_p$ . Качество наплавки или шва будет обеспечено, если скорость плавления электрода вначале сварки будет отличаться от скорости в конце не более чем на 30%. Джоулево тепло определяется уравнением:

$$Q = I_{св}^2 \cdot R \cdot t \quad (1.1)$$

Покрытие электродов существенно влияет на коэффициенты расплавления, наплавки и на коэффициент потерь, который равен:

$$\psi = \frac{\alpha_p - \alpha_n}{\alpha_p} \cdot 100\% \quad (1.2)$$

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

Коэффициент потерь  $\psi$  толстопокрытых электродов уменьшается по сравнению с коэффициентом голых электродов за счёт 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.

Масса расплавленного металла определяется по формуле:

$$G_p = \alpha_p \cdot I_{cs} \cdot t \quad (1.3)$$

### 1.3. Необходимые материалы

1.3.1. Пластины из низкоуглеродистой и нержавеющей стали.

1.3.2. Электроды с тонким покрытием типа Э38 (d=4 мм).

1.3.3. Электроды с толстым покрытием марок МР-3 типа Э46, УОНИ-13/55 тип Э50А, марок АНО-4С типа (Э46 или другой марки d=4мм).

1.3.4. Электроды, имеющие стержни из нержавеющей стали, например электроды марки ЭА-395.

1.3.5. Электроды с добавками железного порошка в покрытие, марки ОЗС-6.

### 1.4. Оборудование, приспособления, инструмент

1.4.1. Сварочный пост постоянного и переменного тока с электроизмерительными приборами.

1.4.2. Весы лабораторные ВЛТЭ-5000.

1.4.3. Секундомер.

1.4.4. Штангенциркуль, микрометр.

1.4.5. Линейка.

1.4.6. Бачок для охлаждения проб.

### 1.5. Порядок выполнения работы

Определить коэффициенты плавления, наплавки и потерь на угар и разбрызгивание при наплавке валиков электродами разных марок, при постоянном токе.

1. Зачистить пластину.

2. Взвесить пластину с точностью до 1г.

3. Замаркировать концы электродов условными обозначениями.

4. Определить массу металлического стержня электрода по формуле:

$$q_{cm} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \gamma \cdot l \quad (1.4)$$

где:  $d$ - диаметр стержня;  $\gamma$  плотность;  $l$ - длина электрода.

Для какой-либо марки электродов с толстым покрытием определить коэффициент массы покрытия (%) путём взвешивания с погрешностью до 0.1 г,

рассчитывая по формуле 1.5.

$$k_n = \frac{q_{эл} - q_{см}}{q_{см}} \cdot 100\% \quad (1.5)$$

5. Подобрать на вспомогательной пластине действительную силу сварочного тока, например 160А, немаркированным электродом. При переходе к наплавке электродами другой марки установленная по амперметру сила тока будет произвольно меняться, поэтому необходимо в процессе наплавки отмечать действительную силу тока по амперметру, которую затем и использовать при расчётах.

6. При установленной силе сварочного тока наплавить на пластину валик электродом типа Э38, оставляя огарки длиной не более 40 мм. Зафиксировать точное время горения дуги и силу тока.

7. Подсчитать массу огарка по формуле (1.4).

8. Охладить пробу с наплавленным валиком, удалить шлак и брызги.

9. Взвесить пробу с наплавленным валиком.

10. Определить коэффициенты расплавления и наплавки по следующим формулам:

$$\alpha_p = G_p \cdot 3600 / I_{св} \cdot t \quad (1.6)$$

$$G_p = q_{см} - q_{ог} \quad (1.7)$$

$$\alpha_n = G_n \cdot 3600 / I_{св} \cdot t \quad (1.8)$$

Рассчитать коэффициент потерь на угар и разбрызгивание по формуле (1.2).

11. Определить теоретическую производительность, кг/ч,

$$G = \alpha_n \cdot I_{св} / 1000 \quad (1.9)$$

12. По ранее указанным методикам проделать п.п. 3...11 электродами марок УОНИ-13/45, ЦТ-15 и порошковым на постоянном токе обратной полярности, а электродом марки АНО-4 на переменном токе.

Для одной марки электродов опыт повторить три раза в одинаковых условиях и вычислить среднее значение определяемых данных.

Данные всех измерений и результаты расчётов занести в таблицу 1.1.

Таблица 1.1

### РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТОВ

Марка электрода	Результаты замеров					Результаты расчётов					
	Масса металлического стержня, г		Режим сварки			Масса, г		Коэффициент			Производительность, кг/ч
	До наплавки	После наплавки	Род и полярность тока	Сила тока, А	Время горения дуги, с	Расплавленного металла	Наплавленного металла	Расплавления, г·А/ч	Наплавки, г·А/ч	Потерь, %	

## 1.6. Содержание отчёта

1.6.1. Методика постановки опытов, краткие теоретические сведения, примеры расчётов.

1.6.2. Таблица замеров и результатов расчётов.

1.6.3. Выводы и объяснения полученных результатов.

## 1.7. Контрольные вопросы

1.7.1. От каких факторов зависит производительность электрической сварки плавящимся электродом?

1.7.2. Что характеризует коэффициенты расплавления, наплавки, потерь, их единицы измерения и значение для основных марок электродов?

1.7.3. Почему коэффициент плавления в начале и конце плавления электрода разный?

1.7.4. Как влияет плотность тока на размер потерь при ручной дуговой сварке?

1.7.5. В каких случаях коэффициент наплавки может оказаться больше коэффициента плавления?

1.7.6. Почему  $\alpha_n$  у электродов ЭА-395/9 больше, чем УОНИ-13/45?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

### Изготовление и технологические испытания покрытых электродов

#### 2.1. Цель работы

Ознакомиться с технологией изготовления электродов методом окунания и контролем качества изготовления электрода.

#### 2.2. Общие положения

Стальные электроды применяются при дуговой сварке конструкционных, легированных сталей, сталей с особыми свойствами, при сварке чугунов и при наплавке. Металлические электроды для дуговой сварки черных металлов в зависимости от толщины покрытия подразделяются на электроды с тонким, средним, толстым покрытиями, способными ещё легировать металл шва, и электроды с особым толстым покрытием, которое, выполняя обычные функции, легирует металл шва, меняя химический состав, механические и физические свойства наплавленного металла. Степень легирования металла шва с некоторой погрешностью может быть установлена сопоставлением химического состава основного металла и металла наплавленного валика, определяемого по формуле:

$$R_{ш} = R_o \cdot \gamma_o + (1 - \gamma_o) \cdot R_э \pm \Delta R \quad (2.1)$$

где:  $R_{ш}$  - содержание рассчитываемого элемента в металле шва или наплавки,  $R_o$  - содержание этого же элемента в основном металле;  $(1 - \gamma_o)$  - доля участия электродного металла в металле шва или наплавки;  $R_э$  - содержание рассчитываемого элемента в металле, наплавленном данной маркой электродов или сварочной проволокой;  $\pm \Delta R$  - переход данного элемента из покрытия или флюсов в шов или его выгорание;  $\gamma_o$  - доля участия основного металла в металле

шва или наплавки.

Технология изготовления металлических электродов сводится к обработке электродной проволоки, материалов покрытия, приготовлению замеса, нанесению покрытия на стержень, сушке и прокатке готовых электродов.

Покрытие на металлический стержень может наноситься опрессовкой и окунанием.

Опрессовка более производительна. Качество электродов при этом выше, чем при использовании других методов. Кроме того, применение прессов для нанесения покрытия позволяет включить в покрытия более тяжелые материалы и большее количество легирующих ферросплавов. Покрытие замешивается в виде густой массы, что способствует равномерному распределению материалов по объёму замеса. Этот метод наиболее часто применяется на практике и обеспечивает высокое качество изготовления и высокие сварочно-технологические характеристики покрытых электродов.

Электроды, изготовленные методом окунания, по своим технологическим свойствам значительно уступают электродам, изготовленным опрессовкой. Покрытия на электроды, изготовленные окунанием, наносятся неравномерно, часто появляются вздутия, вмятины, большой эксцентриситет, вследствие чего дуга горит менее стабильно, увеличивается разбрызгивание.

Масса наплавленного металла 1 м шва при площади сечения шва ( $\text{мм}^2$ ) численно равна объёму 1 м шва ( $\text{см}^3$ ) и определяются по формуле:

$$G_{н1м} = \gamma \cdot V \quad (2.2)$$

где:  $\gamma$  - плотность, г/ $\text{см}^3$ ;  $V$  - объём 1 м шва,  $\text{см}^3$

Масса наплавленного металла шва произвольной длины рассчитывается умножением на длину шва. Необходимая масса электродов (кг) для сварки определяется по формуле:

$$g_{эл} = G_n \cdot (1,6 \dots 1,8) \quad (2.3)$$

### **2.3. Необходимые материалы**

2.3.1. Порошковые материалы для изготовления электродов соответствующих марок УОНИ-13/55, МР-3, 13КН/ЛИВТ, 12АН/ЛИВТ или другие по указанию преподавателя.

2.3.2. Стержни из сварочной проволоки Св-08 и Св-08А ( $d=4$  мм).

### **2.4. Оборудование, приспособления, инструмент**

2.4.1. Сварочный пост постоянного и переменного токов с электроизмерительными приборами.

2.4.2. Весы лабораторные ВЛТЭ-5000.

2.4.3. Мензурка или мерный стакан.

2.4.4. Стакан для окунания.

2.4.5. Посуда для подготовки замеса.

2.4.6. Устройство для сушки электродов на воздухе.

2.4.7. Плита для правки стержней.

2.4.8. Штангенциркуль.

## 2.4.9. Линейка.

### 2.5. Порядок выполнения работы.

Опыт 1. Изготовить толстопокрытые электроды.

1. Выполнить дозировку материалов. В целях ускорения работы дозировку материалов можно производить не по массе, а по объёму, для чего в паспортах на указанные марки электродов приведены соответствующие данные.

2. Из материалов, составляющих покрытия, приготовить механическую смесь в фарфоровой ступке. В первую очередь рекомендуется намешивать легкие и объёмистые вещества с тяжелыми ферросплавами, а затем вводить остальные материалы.

3. К полученной механической смеси добавить жидкое стекло и, пользуясь мешалкой или пестиком, размешать смесь, добавляя воды по мере необходимости, чтобы получить состав в виде густой сметаны.

4. Готовую жидкую массу налить в металлический стакан для окунания.

5. Нанести покрытие, равномерно опуская и поднимая стержень два-три раза, оставляя непокрытым конец стержня длиной 40...50 мм.

6. Поставить или подвесить электрод в устройство для сушки и закрепить. Сушить в течение 24 часов.

7. Поместить электроды в печь и прокалывать: электрод МР-3 при температуре  $T=170...200\text{ }^{\circ}\text{C}$  60...80 мин, УОНИ-13/45 при  $T=350...400\text{ }^{\circ}\text{C}$  80...100 мин, 13 КНЗЛИВТ и 12 АН/ЛИВТ при  $T=250...270\text{ }^{\circ}\text{C}$  60...80 мин.

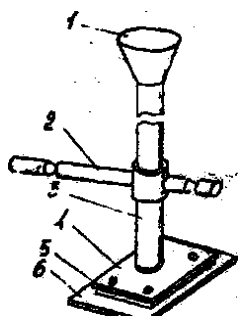


Рис.2.1. Стакан для окунания электродов:  
где 1-воронка; 2-ручка; 3-труба; 4-плита;  
5-прокладка; 6-основание.

Опыт 2. Проверка качества электродов.

1. Проверить толщину и эксцентриситет покрытия электродов изготовленных в лаборатории или на заводе. Для этого в трех местах электрода, смещённых относительно друг друга на 50...100 мм по длине и  $120^{\circ}$  по окружности, напильником снимают покрытие на участке 10...15 мм. Измерение в каждом месте производят микрометром (рис.2.3) с погрешностью 0,01 мм. Эксцентриситет определяется по формуле:

$$e = S_1 - S_2 \quad (2.4)$$

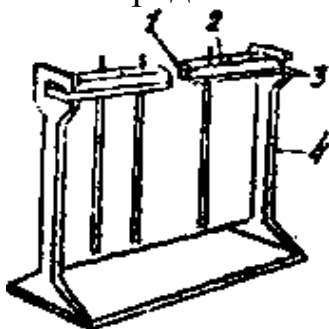


Рис.2.2. Устройство для воздушной сушки электродов:  
где 1-резиновая прокладка; 2-фанера; 3-дерево; 4-стойка.  
Допустимый эксцентриситет электродов с тонким,



средним и толстым покрытиями диаметром 4 мм в зависимости от группы качества колеблется от 0,16 до 0,28 мм; диаметром 5 мм - от 0,20 до 0,35, а особотолстых покрытий - от 0,3 до 0,5 мм.

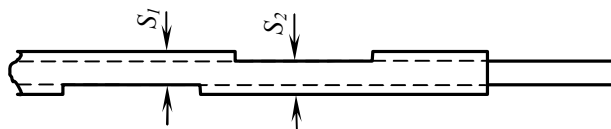


Рис.2.3. Схема удаления покрытия для проверки толщины и эксцентриситета покрытия.

2. Рассчитать коэффициент массы покрытия  $k_p$  (%) по формуле (1.5). Массу следует определить взвешиванием с точностью до 0,1 г.

3. Проверить прочность покрытия, которое не должно разрушаться при свободном падении электрода плашмя на гладкую стальную плиту с высоты: 1 м для электрода диаметром менее 4 мм; 0,5 м для электродов диаметром 4 мм и более. При этом допускаются частичные откалывания покрытия общей протяжённостью до 5% длины покрытой части электрода.

Опыт 3. Провести сварочно-технологическую проверку электродов. Сварочно-технологические свойства электродов определяются после их просушки и прокалки или на ранее изготовленных в лабораторных условиях электродах при соблюдении режимов и условий сварки, установленных паспортом, и при отсутствии магнитного дутья. Электроды должны удовлетворять следующим требованиям: дуга должна легко возбуждаться и стабильно гореть; покрытие должно плавиться равномерно, без чрезмерного разбрызгивания, отваливания кусков и образования козырька, препятствующих нормальному плавлению электрода при сварке во всех пространственных положениях, рекомендуемых для электродов данной марки; образующийся при сварке шлак должен обеспечить правильное формирование валиков и легко удаляться после охлаждения: в наплавленном металле не должно быть трещин, поверхностных пор и шлаковых включений.

Опыт 4. Определить химический состав металла наплавленного валика по формуле (2.1) с данными по указанию руководителя работ.

## 2.6. Содержания отчёта

2.6.1. Краткое содержание технологии изготовления электродов с приведением химического состава использованных материалов и стандартов.

2.6.2. Результаты проверки качества электродов.

2.6.3. Расчёт химического состава наплавленного металла.

2.6.4. Выводы и объяснения полученных результатов.

## 2.7. Контрольные вопросы

2.7.1. Типы покрытий электродов, регламентируемые ГОСТ 9467-75: марки электродов, соответствующие данным типам.

2.7.2. Перечислить основные функции материалов, входящих в состав электродных покрытий.

2.7.3. Как обозначаются по стандартам типы плавящихся электродов разного

назначения?

2.7.4. Какие факторы учитываются при выборе режима сварки для данной марки электрода?

2.7.5. Основные операции, составляющие технологический процесс изготовления средне- и толстопокрытых электродов?

2.7.6. Что характеризует коэффициент массы покрытия?

2.7.7. Исходные данные и порядок расчёта химического состава металла шва.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

### Доля основного металла в металле шва и погонная энергия

#### 3.1. Цель работы

Изучить влияние параметров режима ручной дуговой сварки, погонной энергии на долю основного металла шва и его размеры.

#### 3.2. Общие положения

Независимо от типа и способа выполнения швов состоит из определенной доли основного и электродного металлов. Рассмотрим вопрос о влиянии режима ручной дуговой сварки на долю основного и электродного металлов в металле шва и на его размеры. Режим ручной дуговой сварки - это сила сварочного тока, напряжение на дуге, диаметр электрода, скорость перемещения дуги, угол наклона электрода и т.д. Сила сварочного тока (А) может быть определена по следующей формуле:

$$I_{св} = k \cdot d_{эл} \quad (3.1)$$

где:  $k$  - коэффициент, принимаемый для электродов диаметром 3...4 мм равным 30...45 А/мм<sup>2</sup>;  $d_{эл}$  - диаметр стержня электрода, мм.

Увеличение силы сварочного тока приводит к увеличению эффективной тепловой мощности дуги  $Q_{эф}$ , вследствие чего увеличиваются глубина проплавления, выпуклость, ширина валика и скорость плавления электрода. В результате этого доля основного металла в металле шва повышается.

Для определения доли основного металла в металле шва (а в данном случае наплавленного валика) требуется знать площадь сечения наплавленного валика  $F_n$  (мм<sup>2</sup>), рассчитываемую по формуле:

$$F_n = 0,73 \cdot e \cdot g \quad (3.2)$$

и площадь сечения проплавленного металла, которая с некоторой погрешностью может быть определена по формуле:

$$F_{np} = 0,73 \cdot e \cdot h \quad (3.3)$$

где:  $e$  - ширина шва;  $h$  - глубина провара;  $g$  - высота усиления.

Доля участия основного металла в металле шва определяется по формуле:

$$\gamma_o = F_{np} / (F_{np} + F_n) \quad (3.4)$$

Повышение напряжения на дуге приводит к снижению глубины провара  $h$  (при увеличении длины дуги сварочный ток снизится), так как увеличиваются потери тепла на лучеиспускание, угар и разбрызгивание. Вследствие увели-

чения длины дуги увеличивается площадь нагрева изделия, т.е. увеличивается ширина валика  $e$  и, следовательно, увеличивается его выпуклость  $g$ , так как на величину коэффициентов  $\alpha_p$  и  $\alpha_n$ , напряжение влияет незначительно. Доля основного металла в металле при ручной электродуговой сварке с увеличением напряжения практически не меняется. Увеличение диаметра электрода (при одной и той же силе сварочного тока) приводит к уменьшению плотности сварочного тока, температуры дуги, что влечёт за собой уменьшение глубины провара и доли основного металла в металле шва, а также незначительное увеличение ширины валика.

Погонная энергия - это отношение эффективной тепловой мощности дуги, расходуемой на нагрев изделия к скорости перемещения дуги [Дж/см], и определяет количество теплоты, введенное электрической дугой в 1 см длины однопроходного шва или валика, т.е.:

$$q_n = \frac{Q_{эф}}{V_{св}} = \frac{I_{св} \cdot U_{св} \cdot \eta}{V_{св}} \approx 650 F \quad (3.5)$$

где  $\eta$  - эффективный КПД нагрева дугой;  $V_{св}$  - скорость сварки;  $F$  - площадь сечения шва или валика, мм<sup>2</sup>.

Следовательно, увеличение энергии приводит к увеличению площади сечения шва, т.е. изменению доли основного металла металле шва и формы валика. Скорость перемещения дуги при однопроходной сварке равна скорости сварки.

### 3.3. Необходимые материалы:

3.3.1. Пластины из низкоуглеродистой стали (100x100x10 мм).

3.3.2. Электроды типа Э46 с кислым, основным, рутиловым или другим (по указанию преподавателя) покрытием.

### 3.4. Оборудование, приспособления, инструмент

3.4.1. Сварочный пост постоянного тока с измерительными приборами.

3.4.2. Секундомер.

3.4.3. Настольные переносные тиски.

3.4.4. Специальная струбцина.

3.4.5. Ручной пресс для излома проб.

3.4.6. Линейка.

3.4.7. Штангенциркуль с глубиномером.

### 3.5. Порядок выполнения работы

Опыт 1. Изучить влияние марки электрода на форму шва.

1. Зачистить пластины.

2. Прихватить их по торцам, пользуясь специальной струбциной.

3. Выправить пластины. Разметить мелом расположение валика.

4. Подобрать силу тока 140...150 А при диаметре электрода 4 мм.

5. Наплавить валики перпендикулярно к стыку электродами различных марок при данном режиме, отмечая напряжение на дуге и время её горения. Наплавку каждого валика производить только на охлаждённую пробу, для че-

го после сварки проба охлаждается в воде до комнатной температуры.

6. Замаркировать каждый валик. Измерить длину каждого валика.

7. Произвести излом пробы на ручном прессе.

8. Размеры валиков (e, h, g) на образцах измерить штангенциркулем.

Опыт 2. Изучить влияние силы сварочного тока на форму и размеры шва.

Повторить п.1...4 опыта 1. При силе сварочного тока 190...200 А на пробе наплавить два валика перпендикулярно к стыку электродами типа Э46 с рутиловым покрытием (данные при силе тока 150 А взять из опыта 1), руководствуясь п.6 и повторив п.7...8 опыта 1.

Опыт 3. Изучить влияние напряжения на дуге на форму шва, для чего выполнить наплавку трех валиков при силе сварочного тока 200...220 А, меняя напряжение от 24 до 36 В (за счёт длины дуги). Данные всех измерений и результаты расчётов занести в табл. 3.1. По заданию построить графики зависимостей геометрии шва от величины тока для конкретной марки электродов.

### 3.6. Содержание отчёта

3.6.1. Цель работы.

3.6.2. Назначение и краткая характеристика оборудования.

3.6.3. Методика постановки опытов.

3.6.4. Графики зависимости размеров шва от марки электродов, I<sub>св</sub>, U<sub>д</sub>.

3.6.5. Выводы по работе.

Таблица 3.1

Результаты опытов

Марка электрода	Результаты замеров							Результаты расчётов					
	Режим сварки			Размеры валика, мм				Площадь, мм <sup>2</sup>		Доля основного металла в металле шва	Скорость сварки, см/с	Погонная энергия, Дж/см	Погонная энергия: 650F, Дж/см
	Сила тока, А	Напряжение, В	Время горения дуги, с	Длина	Ширина	Выпуклость	Глубина провара	Проплавления	Наплавки				

### 3.7. Контрольные вопросы

3.7.1. Что характеризует погонная энергия и её аналитическое выражение?

3.7.2. Какая существует зависимость между погонной энергией и площадью сечения валика? Вывести соотношение для лабораторной работы.

3.7.3. Как определяется доля основного металла в металле шва?

3.7.4. Влияние погонной энергии, силы сварочного тока, напряжения на дуге, диаметра электрода на долю основного металла в металле шва.

3.7.5. Как определяется скорость перемещения дуги при отсутствии специальных фиксирующих приборов?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

### Определение технико-экономических показателей производительных способов ручной дуговой сварки

#### 4.1. Цель работы

Определить основные технико-экономические показатели сварки пучком, гребёнкой электродов, лежачим и наклонным электродами, электродами с железным порошком в покрытии.

#### 4.2. Общие положения

Повышение производительности труда при ручной дуговой сварке может быть достигнуто за счёт 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 на сокращение основного времени сварки.

Основное время сварки определяется по формуле:

$$t_o = \frac{F_n \cdot \gamma \cdot L}{\alpha_n \cdot I_{св}} \quad (4.1)$$

где:  $t_o$  - основное время сварки;  $F_n$  - площадь наплавки, см<sup>2</sup>;  $\gamma$  - плотность металла, г/см<sup>3</sup>;  $L$  - длина шва, см;  $\alpha_n$  - коэффициент наплавки, г/А·ч;  $I_{св}$  - сварочный ток, А.

Следовательно, для уменьшения основного времени сварки необходимо уменьшить площадь поперечного сечения наплавленного металла и увеличить коэффициент наплавки и сварочный ток. Уменьшение площади наплавленного металла при заданной толщине может быть достигнуто применением рационального вида подготовки кромок под сварку.

Применение для сварки пучка или гребёнки электродов позволяет повысить производительность труда в 1,5...2 раза за счёт увеличения длины электрода и возможности повышения сварочного тока. Применение спаренного электрода позволяет увеличить производительность процесса за счёт увеличения диаметра электрода и возможности повышения сварочного тока.

Применение способов сварки лежачим и наклонным электродами (гравитационная сварка) позволяет повысить производительность процесса за счёт одновременного использования нескольких установок.

В данной работе необходимо практически оценить изменение технико-экономических показателей при использовании высокопроизводительных спо-

собо́в сварки по сравнению с одиночным электродом.

### **4.3. Необходимые материалы**

4.3.1. Пластины из низкоуглеродистой стали (100x200x10).

4.3.2. Пучок электродов, гребенка электродов, электроды с железным порошком в покрытии, электроды покрытые диаметром 4; 5; 6 мм.

4.3.3. Угольный стержень диаметром 8 мм.

4.3.4. Флюс АН-348.

### **4.4. Оборудование, приспособления, инструмент**

4.4.1. Сварочный пост постоянного и переменного тока.

4.4.2. Электроизмерительные приборы.

4.4.3. Секундомер.

4.4.4. Штатив для сварки наклонным электродом.

4.4.5. Весы лабораторные ВЛТЭ-5000.

### **4.5. Порядок выполнения работы**

4.5.1. Получить необходимые материалы в соответствии с заданием.

4.5.2. Начертить электрическую схему сварочного поста.

4.5.3. Очистить пластины от окалины.

4.5.4. Взвесить пластины и электроды.

4.5.5. Определить вес электродного стержня расчётным путём и сравнить с результатами взвешивания электродного стержня, с которого предварительно необходимо удалить покрытие.

4.5.6. Подобрать сварочный ток, предварительно подсчитав его по формуле К.К.Хренова:

$$I_{св} = (20 + b \cdot d_{эл}) \cdot d_{эл} \quad (4.2)$$

где:  $I_{св}$  - сила сварочного тока, А;  $b$  - толщина свариваемых пластин, мм;  $d_{эл}$  - диаметр электрода, мм.

4.5.7. Произвести опытную наплавку на данном режиме. Во время наплавки фиксировать время горения дуги и сварочный ток.

4.5.8. Очистить пластину от шлака и брызг, очистить огарки от покрытия. Взвесить. Результаты занести в табл. 4.1.

ПРИМЕЧАНИЕ: При подборе режимов сварки пучком и гребенкой электродов необходимо учесть, что ток следует подсчитывать по формуле

$$I_{св} = (20 \dots 30) \cdot \sum d_{эл} \quad (4.3)$$

где:  $d_{эл}$  - диаметр электрода, мм.

Сварку лежачим электродом выполнять под слоем флюса. Возбуждение дуги производить угольным стержнем.

При сварке электродами с железным порошком в покрытии назначить режим, рекомендуемый для данной марки электрода.

### **4.6. Содержание отчёта**

4.6.1. Цель работы.

4.6.2. Назначение и краткая характеристика оборудования.

4.6.3. Краткие теоретические сведения.

4.6.4. Таблица экспериментальных измерений и результатов расчёта.

4.6.5. Выводы по работе.

Таблица 4.1

Результаты опытов

№ опыта	Способ сварки	Диаметр электрода, мм	Сварочный ток, А	Время горения дуги, с	Масса, г				Коэффициент массы покрытия	Коэффициент, г/А·ч		% потерь	% огарка	Производительность, кг/ч
					Наплавленного металла	Электродов с покрытием	Стержня до наплавки	Стержня после наплавки		Расплавления	Наплавки			

**4.7. Контрольные вопросы**

4.7.1. Что понимают под производительностью сварки?

4.7.2. На сколько можно повысить производительность сварки путём введения в покрытие железного порошка?

4.7.3. Технологические особенности сварки пучком и гребёнкой электродов.

4.7.4. Какова максимальная длина шва выполненного лежащими электродами?

4.7.5. Организационные мероприятия по повышению производительности.

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5**

**Условия горения дуги, формирования валика и производительность в среде углекислого газа**

**5.1. Цель работы**

Изучить влияние параметров режима сварки низкоуглеродистой стали в среде  $CO_2$  на производительность процесса, качество, форму и размеры шва.

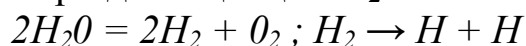
**5.2. Общие положения**

Сущность сварки в среде  $CO_2$  состоит в том, что дуга горит в среде защитного газа, отесняющего воздух от зоны сварки и защищающего наплавленный металл от  $O_2$  и  $N_2$  воздуха. Особенностью данной сварки является сравнительно сильное выгорание элементов, обладающих высоким сродством к кислороду (С, Al, Ti, Si, Mn и др.). Окисление происходит за счёт, как  $CO_2$ , так и атомарного кислорода, который образуется при диссоциации  $CO_2$  под действием тепла дуги. Непрерывный уход оксидов С, Si, Mn из ванны приводит к значительному обеднению металла шва раскислителями, что ухудшает механические свойства соединения. Поэтому для получения качественных соединений необходимо при сварке в среде  $CO_2$  иметь в сварочной ванне достаточное количество раскисляющих элементов, которые обычно вводят за счёт проволоки (Св-08Г2С).

Химический состав металла шва зависит не только от основного и элек-

тродного металлов, но и от параметров режима сварки, особенно от  $I_{св}$  и  $U_{д}$ . Повышение силы сварочного тока при том же диаметре сварочной проволоки приводит к уменьшению времени пребывания капли на конце электрода и её контакта с газами. Вследствие этого уменьшается степень выгорания раскислителей из сварочной проволоки. Повышение напряжения на дуге приводит к значительному обеднению металла шва раскислителями, так как процент выгорания их в столбе дуги повышается за счёт увеличения времени контакта капли электродного металла с газом.

Влажность и расход  $CO_2$  также влияют на качество шва. С повышением влажности  $CO_2$  увеличивается количество растворённого в металле шва водорода, который образуется при диссоциации  $H_2O$ :



При достаточном расходе  $CO_2$  в зону сварки проникает воздух. Из-за этого в металл шва попадает азот, что приводит к образованию пор, как и при попадании водорода. Расход газа обычно устанавливается по расходомеру, чаще всего типа РС-3. Шкала этого расходомера проградуирована на расход воздуха при температуре  $20^\circ C$  и  $1013 ГПа$ . Защитные газы легче или тяжелее воздуха, поэтому для них вводят поправочные коэффициенты  $k$ :

$N_2 - 1,02$ ;  $Ar - 0,85$ ;  $H_2 - 3,8$ ;  $He - 2,7$ ;  $O_2 - 0,955$ ;  $CO_2 - 0,81$ .

Например, показание расходомера 60; то расход воздуха при этом 750 л/час. При использовании газа  $CO_2$  его расход будет равен:

$$V_{CO_2} = V_{возд} \cdot k = 750 \cdot 0,81 = 607 \text{ л/час};$$

Таким образом, можно определить расход и других газов.

Сварка в среде  $CO_2$  – процесс высокопроизводительный, в настоящее время, как правило, осуществляемый на постоянном токе обратной полярности. Переменный ток и постоянный ток прямой полярности не применяются из-за недостаточной устойчивости процесса и неудовлетворительного качества и формы шва. Вследствие наличия в дуговом промежутке кислорода, имеющее большое сродство с электронами приводит к образованию большого количества отрицательных ионов, нарушающих нормальные условия горения дуги, питаемой переменным и постоянным токами прямой полярности.

На производительность сварки оказывают влияние коэффициент наплавки. С увеличением силы тока при сварке в среде  $CO_2$  потери на угар и разбрызгивание уменьшаются. С увеличением силы тока и уменьшением диаметра электродной проволоки (повышение плотности тока) коэффициенты  $\alpha_p$  и  $\alpha_n$  увеличиваются. Повышение напряжения на дуге и скорости сварки приводит к снижению коэффициентов  $\alpha_p$  и  $\alpha_n$ . Это объясняется увеличением потерь тепла с ростом длины дуги на излучение в окружающее пространство, а также увеличением потерь металла на разбрызгивание и угар. Повышение скорости перемещения дуги влечёт за собой некоторое снижение  $\alpha_p$  и  $\alpha_n$ , т.к. с увеличением скорости сварки погонная энергия уменьшается.

Целесообразность внедрения сварки в среде  $CO_2$  подтверждается практи-



кой работы многих предприятий.

### **5.3. Необходимые материалы**

- 5.3.1. Сварочная проволока Св-08Г2С, Св-08 ( $d = 1,2 \dots 2,0$  мм).
- 5.3.2. Пластины из низкоуглеродистой стали (100x100x10 мм).
- 5.3.3. Углекислота сварочная.
- 5.3.4. Аргон высокой чистоты.

### **5.4. Оборудование, приспособления, инструмент**

- 5.4.1. Пост для механизированной сварки в среде  $CO_2$ .
- 5.4.2. Лабораторные весы ВЛТЭ-5000.
- 5.4.3. Секундомер.
- 5.4.4. Переносные настольные тиски.
- 5.4.5. Специальная струбцина.
- 5.4.6. Бачок для охлаждения проб.
- 5.4.7. Пресс для излома проб.
- 5.4.8. Рулетка измерительная 3 м.
- 5.4.9. Штангенциркуль, микрометр.

**ПРИМЕЧАНИЕ.** При отсутствии счётчика расхода проволоки определяется, как произведение скорости подачи проволоки на время сварки и плотность сварочной проволоки.

### **5.5. Порядок выполнения работы**

Опыт 1. Определить коэффициенты расплавления, наплавки, потерь на угар и разбрызгивание при сварке на постоянном токе обратной полярности.

1. Пост подготовить к работе. Зачистить пластины, собрать, их встык, пользуясь специальной струбциной, и прихватить по торцам.

2. Взвесить собранные пластины с точностью до 1 г.

3. Подобрать режим сварки в зависимости от диаметра проволоки и толщины пластин или по заданию преподавателя. В последнее время находит применение сварка в среде  $CO_2$  тонкой проволокой на повышенных режимах, например для проволокой  $d = 1,2$  мм требуется следующий режим: ток 300 А, напряжение 31...36 В, вылет 10...22 мм, скорость подачи проволоки 450...790 м/ч, производительность 4,0...7,0 кг/ч.

4. На выбранном режиме по нижнему пределу наплавить валик перпендикулярно стыку ( $l=150 \dots 160$  мм), фиксируя время горения дуги, напряжение, силу сварочного тока и показания счётчика расхода проволоки. Длина расплавленной проволоки определяется, как произведение показаний счётчика (оборотов) на длину окружности подающего ролика.

5. Охладить пробу в воде, осушить и затем тщательно очистить от брызг и шлака. Взвесить пробу с наплавленным валиком и измерить его длину.

6. Увеличивая силу тока примерно на 50...100 А и сохраняя при этом остальные параметры режима по возможности постоянными, наплавить ещё два валика на эту же пробу, выполнить п. 2...5. Один из валиков наплавить на токе прямой полярности.

7. Размеры валиков  $h$ ,  $e$ ,  $g$  на образцах определить по методике, указанной в работе 3. Рассчитать необходимые величины.

Опыт 2. Повторить опыт 1, изменяя напряжение, при этом остальные параметры режима по возможности сохранить постоянными.

Опыт 3. Повторить опыт 1, производя наплавку проволокой Св-08 и применяя такой же режим сварки, что и для проволоки Св-08Г2С. Сравнить швы по внешнему виду.

Опыт 4. Изменить защитный газ. Переставить выходной штуцер редуктора на баллон с аргоном. Аналогично п. 2...5 выполнить наплавку двух валиков с разными значениями тока.

Данные всех измерений и результаты расчётов занести в табл. 5.1.

### 5.6. Содержание отчёта

5.6.1. Цель работы.

5.6.2. Методика проведения опытов и примеры расчётов.

5.6.3. Таблицы записей и результатов расчётов.

5.6.4. Выводы и объяснения полученных результатов.

Таблица 5.1

Результаты опытов

Марка и диаметр проволоки	Результаты замеров								Результаты расчётов									
	Масса пробы, г		Режим сварки			Размеры валика, мм			Коэффициент		Площадь, мм <sup>2</sup>		Масса, г		Доля основного металла в металле шва	Скорость сварки, м/ч	Погонная энергия, Дж/см	Расплавления
	До наплавки	После наплавки	Сила тока, А	Напряжение, В	Время процесса, с	Длина	Ширина	Выпуклость	Глубина провара	Формы провара	Формы валика	Проплавления	Наплавки	Расплавленной проволоки				

### 5.7. Контрольные вопросы

5.7.1. Диссоциация  $CO_2$ , её влияние на условия горения дуги и выбор рода тока.

5.7.2. Почему для сварки в среде  $CO_2$  низкоуглеродистой или низколегированной стали требуется сварочная проволока с повышенным содержанием Mn и Si?

5.7.3. Почему при одинаковых условиях сварки коэффициент потерь в среде  $CO_2$  больше, чем при сварке под слоем флюса?

5.7.4. Как влияет на качество шва размер капли и когда наблюдается струйный перенос металла в сварочную ванну?

5.7.5. Причины возникновения в швах пор.

5.7.6. Почему при сварке стыковых соединений с разделкой кромок в среде  $CO_2$  суммарный угол раскрытия на кромках делают меньше, чем при ручной сварке покрытыми электродами?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

### Расчёт и проверка режимов автоматической сварки под слоем флюса по заданной глубине провара

#### 6.1. Цель работы

Установить влияние параметров режима сварки на коэффициент наплавки  $\alpha_n$ , производительность  $G_n$ , расход флюса  $\mu$  и размеры шва.

#### 6.2. Общие положения

На практике обычно приходится рассчитывать режим автоматической сварки по шву, указанному на чертеже той или иной конструкции. Изменение размеров швов сварных конструкция нежелательно, так как их уменьшение снижает прочность конструкции, а увеличение вызывает дополнительный расход флюса, проволоки, электроэнергии, повышается основное время на изготовление изделия.

Сварные швы, выполняемые автоматом, имеют три наиболее важных размера, влияющих на качество соединения: глубину провара  $h$ , ширину шва  $e$ , выпуклость  $g$ . Их размеры устанавливаются по размерам шва, заданным в чертеже, затем по формулам определяется площадь сечения наплавленного валика  $F_n$ . Отношение ширины шва к глубине провара называется коэффициентом формы провара  $\psi_{np}$  и рассчитывается по формуле:

$$\psi_{np} = e / h \quad (6.1)$$

Коэффициент формы провара для швов, выполненных автоматической сваркой под флюсом должен быть в пределах 1,3...4,0, чтобы уменьшить вероятность образования горячих трещин.

Отношение ширины шва к выпуклости валика называется коэффициентом формы валика  $\psi_v$ , т.е.:

$$\psi_v = e / g \quad (6.2)$$

Для швов выполняемых автоматической сваркой под флюсом,  $\psi_v = 5 \dots 8$ .

Отдельные параметры режима сварки существенно меняют размеры элементов шва при автоматической сварке. С увеличением силы сварочного тока повышается эффективная мощность дуги, вследствие чего увеличивается количество расплавленного основного и электродного металлов, значительно возрастают глубина провара, выпуклость валика, незначительно - ширина валика,  $\psi_{np}$  и  $\psi_v$  также увеличиваются. Повышение напряжения на дуге увеличивает её тепловую мощность. При этом увеличивается длина дуги и площадь её

воздействия на изделия. В результате интенсивно увеличивается ширина шва и уменьшается выпуклость валика. Повышение напряжения существенного влияния на провар не оказывает, но приводит к заметному увеличению расхода флюса.

Увеличение скорости перемещения дуги до 30...35 м/ч приводит к увеличению горизонтальной составляющей давления дуги на расплавленный металл сварочной ванны. Толщина слоя жидкого металла под дугой уменьшается, тепловое воздействие дуги на основной металл возрастает, глубина проплавления увеличивается, несмотря на уменьшение погонной энергии. При дальнейшем увеличении скорости перемещения дуги погонная энергия и глубина провара уменьшаются. Ширина валика и выпуклость при возрастании скорости перемещения дуги снижаются.

Увеличение диаметра электрода вызывает уменьшение глубины провара и выпуклости валика, а ширина валика увеличивается. Коэффициенты  $\psi_{np}$  и  $\psi_v$  с уменьшением диаметра резко уменьшаются. Увеличение вылета электрода увеличивает предварительный нагрев электрода Джоулевым теплом. Это вызывает повышение  $\alpha_p$  и снижение глубины провара.

Заданная форма шва может быть обеспечена соответствующим режимом автоматической сварки под слоем флюса.

### **6.3. Необходимые материалы**

6.3.1. Пластины из низкоуглеродистой стали (200x100x12 мм).

6.3.2. Сварочная проволока ( $d = 3,0...4,0$  мм).

6.3.3. Флюс ОСЦ-45 или АН-348А.

### **6.4. Оборудование, приспособление, инструмент**

6.4.1. Автоматическая установка с измерительными приборами.

6.4.2. Весы лабораторные ВЛТЭ-5000.

6.4.3. Секундомер.

6.4.4. Линейка.

6.4.5. Штангенциркуль

6.4.6. Специальная струбцина

6.4.7. Переносные настольные тиски.

6.4.8. Бачок с водой.

6.4.9. Пресс для излома проб

### **6.5. Порядок выполнения работы**

За несколько дней до выполнения работы преподаватель задает студентам глубину провара, по которой они рассчитывают режим сварки, и полученные результаты предъявляются перед началом работы.

Для расчёта режимов использовать методику, представленную в методических указаниях "Расчёт режимов дуговой сварки" Томск, 2005. - 27 с.

Опыт 1. Установить влияние силы сварочного тока на форму и размеры валиков, коэффициент наплавки, расход флюса и производительность.

1. Зачистить пластины, собрать их встык, пользуясь специальной струб-

циной и прихватить по торцам.

2. Взвесить собранные пробы с точностью до 2 г.

3. Подготовить автомат к работе.

4. Подготовить бочок с водой для охлаждения проб.

5. Подобрать вычисленный режим сварки наплавкой валика на вспомогательную пластину.

6. Закрепить, собранные пластины на сварочном столе, наплавить на них валик, отмечая сварочный ток, напряжение на дуге и время горения дуги.

7. Охладить пробу в воде, затем осторожно снять шлаковую корку и взвесить её с точностью до 1 г.

8. Взвесить пробу с наплавленным валиком. Замерить длину валика.

9. Наплавить на пробу ещё два валика, увеличивая или уменьшая силу сварочного тока примерно на 100 А.

Опыт 2. Установить влияние напряжения дуги на форму и размеры шва, коэффициент наплавки, расход флюса и производительность.

1. Подобрать режим для второй пробы наплавкой валиков на вспомогательной пластине. Напряжение для одного валика подобрать примерно на 5 В больше, а для другого на 5 В меньше напряжения дуги, при котором производилась наплавка валиков первой пробы.

2. Наплавить валики на пробу, выполнив перечисленные пункты настоящей работы п. 6...8 опыта 1.

Опыт 3. Установить влияние скорости перемещения дуги на форму и размеры валика, коэффициент наплавки, расход флюса и производительность, для чего наплавить на третью пробу два валика, увеличив скорость сварки примерно на 10 м/ч, пользуясь зависимостью показания потенциометра скорости сварки.

1. Сломать на ручном прессе все три пробы.

2. Размеры валиков  $h$ ,  $e$ ,  $g$  на пробах определить по методике, указанной в работе 3.

3. Определить  $G_n$ ,  $\alpha_n$ ,  $\psi_{np}$ ,  $\psi_v$ ,  $\gamma_o$ ,  $g_{noz}$ ,  $V_{св}$ ,  $\mu$  по ранее указанным методикам и формулам.

Опыт 4. Установить влияние влаги, ржавчины и окалины на склонность шва к порообразованию.

1. Собрать и прихватить тавровое соединение.

2. Засыпать в «лодочку» ржавчину, окалину, и влажный флюс отдельными участками длиной 50 мм с интервалом 10 мм и произвести наплавку.

3. Произвести сварку по всей длине пластины.

4. Удалить флюс и шлаковую корку, подсчитать количество пор на каждом участке.

Данные всех измерений и расчётов в процессе выполнения лабораторной работы занести в сводную таблицу 6.1.

## Результаты опытов

Результаты замеров								Результаты расчётов										
Масса шлаковой корки, г	Режим сварки			Размеры валика				Коэффициент формы		Площадь, мм <sup>2</sup>		Доля основного металла в металле шва	Скорость сварки, см/с	Погонная энергия, Дж/см	Масса наплавл. металла, г	Удельный расход флюса	Коэффициент наплавки г/А·ч	Производительность, кг/ч
	Сила тока, А	Напряжение, В	Время горения, с	Длина	Ширина	Выпуклость	Глубина провара	Провара	Валика	Проплавления	Наплавки							

**6.6. Содержание отчёта**

- 6.6.1 Расчёт режима автоматической сварки данной лабораторной работы.  
 6.6.2. Методика постановки опытов и примеры расчётов.  
 6.6.3. Таблицы записей и результаты расчётов.  
 6.6.4. Графики зависимости ширины валика, выпуклости, глубины проплавления, доли основного металла в металле шва, удельного расхода флюса от силы сварочного тока и напряжения дуги (по заданию руководителя).  
 6.6.5. Выводы и объяснения полученных результатов.

**6.7. Контрольные вопросы**

- 6.7.1. Какие величины составляют режим автоматической сварки под флюсом, и как они влияют на размеры валика?  
 6.7.2. Почему с увеличением напряжения на дуге увеличивается ширина валика и уменьшается выпуклость?  
 6.7.3. Как влияют на размеры валика скорость перемещения дуги и диаметр сварочной проволоки?  
 6.7.4. Почему с изменением напряжения на дуге меняется расход флюса?  
 6.7.5. Из каких материалов состоит шихта наиболее распространённых флюсов для углеродистых и низколегированных сталей марок ОСЦ-45 и АН-348А?  
 6.7.6. Что вызывает появление пор в металле шва?  
 6.7.8. Как перед сваркой производится подготовка сварочных материалов?  
 6.7.9. Какие контрольно-измерительные приборы должны иметься на оборудовании для автоматической сварки под слоем флюса?

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7**

**Влияние условий автоматической сварки плавящимся электродом в среде защитных газов на формирование шва в различных пространственных положениях**

## 7.1. Цель работы

Определить зависимость глубины проплавления  $h_{пр}$ , ширины шва  $e$ , высоты усиления  $g$  от а) пространственного положения сварки; б) наклона электрода; в) при сварке вертикального шва от направления сварки. При сварке вертикального шва определить зависимость  $h_{пр}$ ,  $e$ ,  $g$  от скорости сварки и силы сварочного тока.

## 7.2. Общие положения

Опыт сварки в защитных газах показывает, что основные зависимости формы шва  $h_{пр}$ ,  $e$  и  $g$  от параметров режима при сварке в нижнем положении сохраняет примерно такой же характер, как и при сварке под флюсом. Ввиду этого названные зависимости нами особо рассматриваться не будут. В случае необходимости они могут быть определены по методике описанной в лабораторной работе №6.

## 7.3. Необходимые материалы

7.3.1. Аргон (углекислый газ) –  $1\text{ м}^3$ .

7.3.2. Электродная проволока диаметром 1,2...2,0 мм марки Св-06Х19Н9Т (марки Св-08Г2С).

7.3.3. Пластины 200x150x8 из стали марки 10Х18Н9Т (низкоуглеродистой)

7.3.4. Необходимые материалы и реактивы для приготовления макрошлифов из нержавеющей (низкоуглеродистой) стали.

## 7.4. Необходимое оборудование

7.4.1. АДСП-2 (АДСП-1, АДПГ-500) для автоматической сварки в среде защитных газов с приспособлением, позволяющим производить сварку в любом пространственном положении.

7.4.2. Сварочный преобразователь типа ПСО-500 (сварочный выпрямитель типа ВДУ-504).

7.4.3. Расходомер газа - ротаметр типа РС-3.

7.4.4. Понижающий газовый редуктор АР - 40, (У - 30, подогреватель газа).

7.4.5. Сварочный щиток, рукавицы, кузнечные клещи.

7.4.6. Штангенциркуль.

## 7.5. Порядок выполнения работы

7.5.1. Собрать схему установки для сварки плавящимся электродом в среде защитных газов по заданию преподавателя. Производя наплавку на опытную пластину, установить режим сварки:  $I_{св} = 250\text{ А}$ , полярность обратная,  $U_d = 24...26\text{ В}$ ,  $V_{св} = 35\text{ м/час}$ , расход защитного газа  $Q = 15\text{ л/мин}$ , вылет электрода  $l_{эл} = 12\text{ мм}$ .

7.5.2. На установленном режиме произвести наплавку швов:

а) в нижнем положении;

б) в вертикальном на спуск;

в) в вертикальном на подъём;

г) в потолочном положении при наклоне электрода, равным  $60^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $120^\circ$ .

Примечание. 1. Наплавку каждого последующего валика производить на

пластину, охлаждённую до комнатной температуры. 2. После наплавки каждого валика на нём должно быть проставлено клеймо. 3. Начало и конец шва на длине 50 мм в работе не используют.

7.5.3. Определение  $h_{пр}$ ,  $e$  и  $g$  производится при помощи штангенциркуля по излому образцов. Данные замеров и расчётов занести в таблицу 7.1.

Таблица 7.1

Влияние условий автоматической наплавки в среде защитных газов на формирование шва в различных пространственных положениях

№ опыта	Сила тока, А	Напряжение на дуге, В	Скорость сварки, см/с	Угол наклона электрода, град	Размеры шва, мм														
					Нижнее			Вертикал. на спуск			Вертикал. на подъём			Потолочное					
					$h_{пр}$	$e$	$g$	$h_{пр}$	$e$	$g$	$h_{пр}$	$e$	$g$	$h_{пр}$	$e$	$g$			

7.5.4. Для определения зависимости  $h_{пр}$ ,  $e$  и  $g = f(V_{св})$ ;  $h_{пр}$ ,  $e$  и  $g = f(I_{св})$  при сварке в вертикальном положении шов производить при перпендикулярном к поверхности пластины электроде: а) на спуск; б) на подъём.

При определении зависимости  $h_{пр}$ ,  $e$  и  $g = f(V_{св})$  скорость сварки изменять в пределах 20...45 м/ч, оставляя остальные параметры режима постоянными. При определении зависимости  $h_{пр}$ ,  $e$  и  $g = f(I_{св})$ , ток изменять в пределах 200...300 А, оставляя остальные параметры режима постоянными.

По полученным данным построить графики зависимости  $h_{пр}$ ,  $e$  и  $g=f(V_{св})$ ;  $h_{пр}$ ,  $e$  и  $g=f(I_{св})$ .

## 7.6. Содержание отчёта

7.6.1. Схема сварочной установки.

7.6.2. Описание методики производства опытов и их результаты в виде таблиц и графиков.

7.6.3. Выводы и объяснения полученных результатов.

## 7.7. Контрольные вопросы.

7.7.1. В каких случаях необходимо применять в качестве защитного газа аргон, углекислый газ и их смесь?

7.7.2. В каких случаях целесообразно применять плавящиеся и неплавящиеся электроды?

7.7.3. Чем объясняется изменение глубины проплавления шва в зависимости от пространственного положения сварки?

7.7.4. Почему различна глубина проплавления вертикального шва при сварке "на подъём" и "на спуск"?

7.7.5. Какой род сварочного тока и полярность используют при сварке плавящимся электродом в среде защитного газа?



## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8**

### **Изучение технологических параметров аргонно-дуговой сварки неплавящимся электродом**

#### **8.1. Цель работы**

- 8.1.1. Определить максимальный допустимый постоянный сварочный ток на данный вольфрамовый электрод.
- 8.1.2. Определить влияние длины дуги на её напряжение при сварке на постоянном токе прямой и обратной полярности.
- 8.1.3. Построить статическую характеристику дуги вольфрам - нержавеющая сталь при сварке на постоянном токе прямой и обратной полярности.
- 8.1.4. Определить влияние расхода аргона на напряжение дуги вольфрам - алюминий.
- 8.1.5. Определить влияние силы сварочного тока и напряжения дуги на глубину проплавления и ширину шва при использовании постоянного тока прямой полярности.

#### **8.2. Необходимые материалы**

- 8.2.1. Вольфрамовые электроды диаметром 3 мм - 100 г.
- 8.2.2. Пластины из нержавеющей стали 200x150x5 мм марки 10Х18Н9Т- 4шт.
- 8.2.3. Пластины из алюминия 200x150x5 мм марки А0 или А97-2 шт.
- 8.2.4. Аргон чистый 1-го сорта - 1 м<sup>3</sup>.

#### **8.3. Необходимое оборудование**

- 8.3.1. Установка для автоматической сварки вольфрамовым электродом.
- 8.3.2. При отсутствии установки сварочный выпрямитель типа ВДУ – 504, с комплектом для ручной аргонно-дуговой сварки.
- 8.3.3. Газовый редуктор АР-40.
- 8.3.4. Расходомер газа - ротаметр типа РС-3.
- 8.3.5. Сварочный щиток, кузнечные клещи.

#### **8.4. Методика выполнения работы**

- 8.4.1. Собрать схему установки для сварки вольфрамовым электродом в защитных газах на постоянном токе по заданию преподавателя. Закрепить в горелке неплавящийся электрод (конец электрода заточить под углом 60°).

Определение максимального, допустимого постоянного сварочного тока данной полярности на вольфрамовый электрод диаметром 3 мм производится в следующем порядке:

- а) установить длину дуги 5 мм;
- б) установить скорость сварки 20 м/час;
- в) приблизительно установить силу сварочного тока 40 А;
- г) установить по ротаметру расход газа 5...7 л/мин;
- д) включить автомат и возбудить сварочную дугу на пластине;
- в) увеличивая силу сварочного тока и наблюдая через сварочный щиток, заметить момент начала расплавления конца вольфрамового электрода, отметить

значения сварочного тока и напряжения на дуге.

Опыт выполнить на прямой и обратной полярности.

8.4.2. Для определения влияния длины дуги, горящей в аргоне, на её напряжение возбудить дугу на пластине из нержавеющей стали и алюминия. Параметры сварки: диаметр вольфрамового стержня 3 мм, расход аргона 5...7 л/мин, сварочный ток 100А, скорость сварки 20м/ч. Длину дуги изменять в пределах 2...10 мм. Опыты провести на постоянном токе прямой и обратной полярности.

Результаты опытов занести в таблицу 8.1. По полученным данным построить график зависимости  $U_d = f(I_d)$ .

8.4.3. Для построения статической характеристики дуги - зависимости  $U_d = f(I_d)$  при различных значениях длины дуги установить следующие параметры сварки: расход аргона 5...7 л/мин, скорость сварки 20 м/час. Силу сварочного тока изменять в пределах 50...150 А при длине дуги 2,5 и 8 мм. Опыты провести на постоянном токе прямой и обратной полярности.

8.4.4. Для определения влияния расхода аргона на напряжение дуги установить следующие параметры сварки: сварочный ток 100 А (постоянный), скорость сварки 25 м/час, длина дуги 5 мм. Дугу возбудить на алюминиевой пластине. Опыт провести при расходе аргона 2, 4, 6 и 10 л/мин на постоянном токе прямой и обратной полярности. Построить график зависимости  $U_d = f(Q_r)$ .

8.4.5. Для определения влияния силы сварочного тока и напряжения дуги на размеры шва установить следующие параметры сварки: постоянный сварочный ток прямой полярности, расход газа 5...7 л/мин, скорость сварки 25 м/час. Дугу возбудить на пластине из нержавеющей стали.

При определении зависимости  $h_{пр}, e = f(I_{св})$  напряжение дуги поддерживать в процессе сварки 12...16 В. Сварочный ток изменять в пределах 100...250 А.

При определении зависимости  $h_{пр}, e = f(U_d)$  сила сварочного тока 200 А. Напряжение дуги изменять в пределах 10...20 В, регулируя длину дуги.

Сварку каждого последующего валика производить на пластину, охлажденную до комнатной температуры. Определение  $h_{пр}$  и  $e$  производится при помощи штангенциркуля после поперечной разрезки пластин. Построить графики зависимости  $h_{пр}, e = f(I_{св})$  и  $h_{пр}, e = f(U_d)$ .

8.4.6. Для опытов, выполненных в п.8.4.5., определить погонную энергию:

$$Q_n = \frac{0,24 \cdot I_{св} \cdot U_d \cdot \eta}{V} \quad \text{кал/см} \quad (8.1)$$

## 8.5. Содержание отчёта

8.5.1. Описание методики производства опытов.

8.5.2. Цель работы и краткие теоретические сведения.

8.5.3. Выводы и объяснения полученных результатов.

8.5.4. Результаты измерений в таблице и графики указанных преподавателем зависимостей.

## Результаты опытов

№ пп	Материал пластины	Полярность	Расход газа, л/мин	Длина дуги, мм	Режим сварки			Размеры шва, мм	
					I <sub>св</sub> , А	U <sub>д</sub> , В	V <sub>св</sub> , см/с	h <sub>пр</sub>	e

**8.6. Контрольные вопросы**

- 8.6.1. Можно ли производить сварку вольфрамовым электродом в среде углекислого газа?
- 8.6.2. Остается ли постоянной статическая характеристика вольфрамовой дуги при сварке различных материалов?
- 8.6.3. От чего зависит величина допустимого тока на электроде?
- 8.6.4. От чего зависит расход защитного газа?
- 8.6.5. Какие трудности имеются при сварке алюминия и его сплавов?
- 8.6.6. На какой полярности вольфрам разогревается сильнее?

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №9****Дуговая, воздушно-дуговая и плазменная резка металлов****9.1. Цель работы**

Изучить технологические особенности дуговой и плазменной резки и сравнить технические возможности способов обработки металлов.

**9.2. Общие положения**

При дуговой сварке расплавленный металл удаляется из зоны реза механическим воздействием сварочной дуги и под действием собственной силы тяжести. Этим методом можно резать низкоуглеродистые стали, легированные, цветные металлы и чугуны.

Резку электрической дугой производят металлическим и угольным электродами. В практике широко применяются обычные толстопокрытые электроды типа Э42, Э46.

Метод резки электрической дугой имеет и некоторые недостатки: низкую производительность процесса, недостаточную чистоту реза, науглероживание кромок при резке угольным электродом, натёки на нижней кромке, большой расход основного металла.

Производительность процесса электродуговой резки определяется количеством выплавленного металла в единицу времени.

$$G_g = \alpha_g \cdot I_{св} \cdot t \quad (9.1)$$

$$\alpha_g = G_g / I_{св} \cdot t \quad (9.2)$$

где  $G_g$  - количество металла, выплавленного за 1 ч., г;

$\alpha_g$  - коэффициент выплавки, г/А·ч.

Производительность выплавки зависит от силы сварочного тока и угла наклона электрода относительно поверхности обрабатываемого металла. Ус-

тановлено, что наибольшая производительность будет при угле наклона электрода к изделию  $10^\circ$ . При таком угле наклона повышается эффективная тепловая мощность дуги за счёт уменьшения потерь тепла в окружающую среду.

Воздушно-дуговая резка углеродистых сталей эффективна при постоянном токе обратной полярности, а при резке цветных металлов - прямой полярности. При дуге прямой полярности под действием высокой температуры к другим факторам на аноде плавление металла происходит интенсивно. При этом образуется чашеобразное углубление, по которому растекается расплавленный металл, удаление которого воздухом затруднено. Производительность резко падает. При резке на обратной полярности расплавленный металл образует форму конического выступа за счёт движения потока электронов к аноду. Он более подвижен и текуч и легко удаляется струей воздуха.

Основным рабочим инструментом является резак. Существуют резаки с обтекаемой и с боковой подачей воздуха.

Производительность резки и строжки прямо пропорциональна силе тока. Питание резака сжатым воздухом осуществляется от цеховой сети под давлением  $4...6 \text{ кг/см}^2$  ( $0,4...0,6 \text{ МПа}$ ) или от сети индивидуального компрессора. Если давление большое – дуга обрывается, если меньше – расплавленный металл слабо выдувается. Вылет электрода не должен превышать 100 мм. При работе электрод «обгорает» и должен периодически выдвигаться на ту же величину. Возбуждение дуги производится при поступлении воздуха. Выплавка металла начинается немедленно, поэтому дугу надо возбуждать в намеченной точке реза. При резке наклон электрода составляет  $45...60^\circ$  по отношению к изделию. При строжке электрод наклоняют под углом  $35...45^\circ$ .

Воздушно-дуговой поверхностной и разделительной резке могут подвергаться цветные металлы и их сплавы. Однако применение этого способа для разделительной резки цветных металлов требует повышения погонной энергии ввиду более высокой теплоёмкости и теплопроводности этих металлов.

Недостатки присущие резке угольным и покрытыми электродами исключаются при плазменной резке металлов. За счёт высокой концентрации нагрева при данном способе появляется возможность производить резку практически всех металлов на постоянном токе прямой полярности. Физическая сущность: удаление из зоны реза расплавленного металла за счёт высокого давления, обеспечиваемого плазменной дугой. Зажигание дуги осуществляется при пробое воздушного промежутка высоким напряжением. Сначала возбуждается дежурная дуга между электродом и соплом, а далее через систему коммутации включается рабочая дуга, горящая между электродом и изделием. Основным инструментом при резке является плазмотрон. После зажигания рабочей дуги плазмотрон на расстоянии  $1...2 \text{ мм}$  от металла перемещают вдоль линии реза. Расход основного металла при резке значительно ниже, чем при резке покрытыми электродами. При этом отмечается высокая производительность, возможность увеличения разрезаемых толщин, чистота реза, меньший припуск на

обработку, вследствие небольшого влияния на свойства металла. Однако данный способ требует использования специального оборудования. В качестве катода используются циркониевые и гафниевые электроды, обладающие высокой стойкостью при нагреве, когда в качестве плазмообразующего газа используется сжатый воздух. Однако в зависимости от режима резки срок службы катода составляет 3...5 часов.

Достаточно широко также применяется газокислородная резка, основанная на выгорании металла в кислороде. Т.е. для того, чтобы пошел процесс кислородной резки металл должен быть нагрет, как минимум, до температуры воспламенения металла в кислороде. В качестве горючего газа при резке используются ацетилен, пропан, пропан-бутановую смесь и др. Данный способ обеспечивает простоту процесса и оборудования по сравнению с плазменной резкой. Однако с помощью кислородной резки практически невозможно разрезать нержавеющие стали. Не подвергаются кислородной резке все цветные металлы с сплавы, а также некоторые марки чугуна, т.к. разрезаемый металл при этом должен обеспечивать ряд обязательных требований.

### **9.3. Необходимые материалы**

- 9.3.1. Пластины из низкоуглеродистой и легированной стали.
- 9.3.2. Пластины из алюминиевого и медного сплавов.
- 9.3.3. Электроды: графитовые или угольные, толстопокрытые диаметром 5мм.
- 9.3.4. Сжатый воздух (баллон или компрессор).

### **9.4. Необходимое оборудование**

- 9.4.1. Сварочный пост постоянного тока с измерительными приборами.
- 9.4.2. Компрессор или баллон со сжатым воздухом.
- 9.4.3. Установка для плазменной резки УПР-0901.
- 9.4.4. Воздушно дуговой резак РВД-1 или др.
- 9.4.5. Сварочный щиток, рукавицы, кузнечные клещи.
- 9.4.6. Весы лабораторные ВЛТЭ-5000.
- 9.4.7. Секундомер.
- 9.4.8. Линейка.

### **9.5. Порядок выполнения работы**

Опыт 1. Определить производительность процесса и расход материалов при резке электрической дугой низкоуглеродистой стали плавящимся и неплавящимся электродом.

- 1. Заточить электрод под углом  $60...90^\circ$  и закрепить в держателе.
- 2. Зачистить и взвесить пластины и графитовый электрод.
- 3. Рассчитать вес стержня металлического электрода.
- 4. Подобрать силу тока исходя от диаметра электрода.
- 5. Произвести резку угольным электродом на длине 70...80 мм, отмечая силу тока, напряжение и время горения дуги.
- 6. Охладить пластину, очистить от брызг и шлака, взвесить.
- 7. Повторить опыт, выполняя резку покрытыми электродами.

8. Повторить опыт для нержавеющей стали.

Опыт 2. Определить производительность при воздушно-дуговой резке, руководствуясь указаниями опыта 1.

Опыт 3. Определить производительность при плазменной резке, руководствуясь указаниям опыта 1. Опыты провести для низкоуглеродистой, высоколегированной стали и сплава цветных металлов (алюминиевый или медный сплав).

Результаты опытов и расчётов занести в таблицу 9.1.

### 9.6. Содержание отчёта

9.6.1. Методика постановки опытов, примеры расчётов.

9.6.2. Таблица записей и результатов расчёта.

9.6.3. Выводы и объяснения полученных данных.

Таблица 9.1

Результаты опытов

Вид резки	Результаты замеров							Результаты расчётов				
	Масса электрода, г		Масса пробы, г		Режим резки			Масса, г		Коэффициент выплавки, г/А·ч	Производительность, кг/ч	
	До резки	После резки	До резки	После резки	Род тока, полярность	Сила тока, А	Напряжение, В	Время горения дуги, с	Израсходованных электродов			Выплавленного металла

### 9.7. Контрольные вопросы.

9.7.1. Сущность дуговой и плазменной резки металлов и область их применения.

9.7.2. Почему при воздушно-дуговой резке металлов применяют постоянный ток прямой полярности?

9.7.3. От чего зависит производительность процесса дуговой резки?

9.7.4. Преимущества воздушно-дуговой резки и строжки металлов.

9.7.5. Преимущества плазменной резки металлов.

9.7.6. Недостатки кислородной резки.

9.7.7. Сущность плазменной и газокислородной резки металлов.

9.7.8. Требования, предъявляемые к металлам, подвергаемым кислородной резке.

9.7.9. Что такое кислородно-флюсовая резка, резка кислородным копьём? Их технологические возможности.

# **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СВАРКИ ПЛАВЛЕНИЕМ И ДАВЛЕНИЕМ**

методические указания к выполнению лабораторных работ  
для студентов направления 150400  
"Технологические машины и оборудование"

Составитель Трущенко Евгений Анатольевич

Подписано к печати 20.09.2005 г.  
Тираж 50 экз. стр. 31. Заказ №93.  
Бумага офсетная.  
Формат 60x84/16, Усл.печ.л. 3.52  
Печать RISO. Отпечатано в типографии  
ООО «РаумШ мбХ»  
Лицензия Серия ПД № 12-0092 от 03.05.2001г.  
634034, г.Томск, ул. Усова 7, ком. 052  
тел. (3822) 56-44-54