



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

**Кафедра «Порошковая металлургия, сварка
и технология материалов»**

**Т. И. Бендик
Н. И. Урбанович
В. Ю. Серeda**

ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ ПЛАВЛЕНИЕМ И ТЕРМИЧЕСКОЙ РЕЗКИ

Практикум

**Минск
БНТУ
2024**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Порошковая металлургия, сварка и технология материалов»

Т. И. Бендик
Н. И. Урбанович
В. Ю. Середа

ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ ПЛАВЛЕНИЕМ И ТЕРМИЧЕСКОЙ РЕЗКИ

Практикум
для студентов специальности 6-05-0714-03 «Инженерно-техническое
проектирование и производство материалов и изделий из них»
профилизации «Оборудование и технология сварочного производства»

*Рекомендовано учебно-методическим объединением Республики Беларусь
по образованию в области металлургического оборудования и технологий*

Минск
БНТУ
2024

УДК 621.791.75, 621.791.9
ББК 30.616
Б46

Р е ц е н з е н т ы:

кафедра автомобильного транспорта УО «Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой»,
(зав. кафедрой, канд. техн. наук, доцент *О. П. Штемпель*);
начальник бюро ТО ПКЗ ОАО «МАЗ» *Т. Ф. Пинязик*

Бендик, Т. И.

Б46

Технология сварки плавлением и термической резки : практикум для студентов специальности 6-05-0714-03 «Инженерно-техническое проектирование и производство материалов и изделий из них» профилизации «Оборудование и технология сварочного производства» / Т. И. Бендик, Н. И. Урбанович, В. Ю. Середа. – Минск : БНТУ, 2024. – 71 с.

ISBN 978-985-31-0054-9.

Практикум содержит общие теоретические сведения, описание оборудования и инструментов, а также подробную методику выполнения и оформления результатов лабораторных работ по дисциплине «Технология сварки плавлением и термической резки» для студентов специальности 6-05-0714-03 «Инженерно-техническое проектирование и производство материалов и изделий из них» профилизации «Оборудование и технология сварочного производства».

УДК 621.791.75, 621.791.9
ББК 30.616

ISBN 978-985-31-0054-9

© Бендик Т. И., Урбанович Н. И.,
Середа В. Ю., 2024
© Белорусский национальный
технический университет 2024

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 1. ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ ПОКРЫТЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ (4 ЧАСА)	4
Лабораторная работа № 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОЛИ ОСНОВНОГО МЕТАЛЛА В МЕТАЛЛЕ ШВА И ПОГОННОЙ ЭНЕРГИИ СВАРКИ (4 ЧАСА).....	12
Лабораторная работа № 3. ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕХАНИЗИРОВАННОЙ СВАРКИ В УГЛЕКИСЛОМ ГАЗЕ (4 ЧАСА)	21
Лабораторная работа № 4. ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕХАНИЗИРОВАННОЙ СВАРКИ В СМЕСИ (Ar + CO ₂) И ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ (4 ЧАСА).....	31
Лабораторная работа № 5. ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИКИ ДУГОВОЙ СВАРКИ НЕПЛАВЯЩИМСЯ ВОЛЬФРАМОВЫМ ЭЛЕКТРОДОМ ЧЕРНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ (4 ЧАСА)	39
Лабораторная работа № 6. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКИ ПОД ФЛЮСОМ НА РАЗМЕРЫ И ФОРМУ СВАРНОГО ШВА (2 ЧАСА).....	50
Лабораторная работа № 7. ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКИ (4 ЧАСА)	59
Лабораторная работа № 8. ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФЕКТНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПО МАКРОШЛИФАМ, ВЫПОЛНЕННЫМ ДУГОВОЙ СВАРКОЙ (4 ЧАСА)	65
Техника безопасности при проведении лабораторных работ.....	68
Список использованных источников	71

Лабораторная работа № 1

ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ ПОКРЫТЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ (4 ЧАСА)

Цель работы: изучить оборудование и основные параметры режима ручной дуговой сварки (РДС), виды электродных покрытий и их влияние на конструктивные элементы и внешний вид сварных соединений.

Общие теоретические сведения

При ручной дуговой сварке к электроду и свариваемому изделию для образования и поддержания сварочной дуги от источника питания подводится постоянный (DC) или переменный ток (AC). Электрическая дуга расплавляет металлический стержень электрода, его покрытие и основной металл. Металл стержня электрода в виде отдельных покрытых шлаком капель переходит в сварочную ванну. В сварочной ванне происходит перемешивание электродного металла с расплавленным металлом изделия (основным металлом), а расплавленный шлак всплывает на поверхность и затвердевает (рис. 1.1).

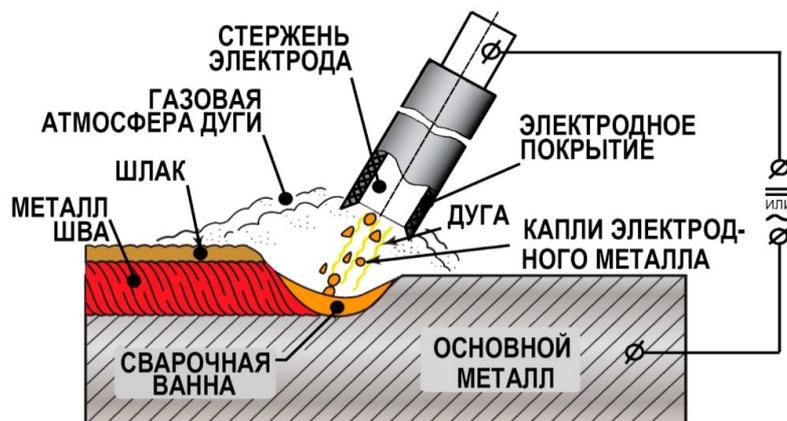


Рис. 1.1. Схема протекания процесса ручной дуговой сварки покрытым электродом

При плавлении покрытие электрода образует вокруг дуги и над поверхностью сварочной ванны газовую атмосферу, оттесняющую воздух из зоны сварки, и тем самым обеспечивает защиту расплавленного металла. Шлак, покрывая капли электродного металла и поверхность сварочной ванны, предотвращает контакт с воздухом и участвует в металлургическом взаимодействии с расплавленным металлом.

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

При сварке на постоянном токе, если положительный полюс источника питания (анод) присоединен к изделию, то говорят, что сварка производится на прямой полярности DC (–) или DCEN. Если на изделии отрицательный полюс

(катод), то полярность обратная DC (+) или DCSP. При питании дуги постоянным током наибольшее количество теплоты выделяется в зоне анода (42–43 %). Это объясняется тем, что анод подвергается более мощной бомбардировке заряженными частицами (электродами), чем катод. Разная температура катодной и анодной зон, а также разное количество теплоты, выделяющееся в этих зонах, используются при решении технологических задач.

При сварке деталей, требующих большого подвода теплоты для прогрева кромок, применяют прямую полярность DC (–). При сварке тонкостенных изделий, тонколистовых конструкций, а также сталей, не допускающих перегрева (нержавеющие, жаропрочные, высокоуглеродистые и др.), применяют сварку постоянным током обратной полярности DC (+).

Размеры сварочной ванны зависят от режимов и пространственного положения сварки, скорости перемещения дуги по поверхности изделия, от конструкции сварного соединения, формы и размеров разделки свариваемых кромок и т. д. При РДС они обычно находятся в пределах: глубина до 6 мм, ширина 8–15 мм, длина 10–30 мм.

Расстояние от активного пятна на расплавленной поверхности электрода до другого активного пятна дуги на поверхности сварочной ванны называется длиной дуги. Напряжение и длина дуги тесно связаны между собой. Чем короче дуга, тем ниже напряжение дуги и температура. При удлинении дуги ее сопротивление увеличивается, вызывая повышение напряжения дуги и температуры.

Основные параметры режима ручной дуговой сварки: диаметр электрода (стержня) $d_{эл}$ (мм), сила сварочного тока $I_{св}$ (А), род и полярность тока, напряжение на дуге $U_{д}$ (В), скорость сварки $V_{св}$ (м/ч). Подбор диаметра электрода осуществляют по толщине свариваемого металла и типу сварного соединения, а также пространственному положению сварки. Основным параметром режима сварки, обеспечивающим проплавление основного металла, является сила сварочного тока. При увеличении сварочного тока возрастает глубина проплавления, увеличиваются размеры сварочной ванны.

При увеличении напряжения на дуге растет ширина шва. Внешний вид валиков швов, наплавленных на различных режимах сварки, показан на рис. 1.2. Как видно из рис. 1.2, параметры режима оказывают непосредственное влияние на форму и размеры шва, которые должны соответствовать требованиям ТНПА (ГОСТ 5264-80, ГОСТ 11534-75, ГОСТ 16037-80). Параметры режима влияют на внешний вид сварных соединений: чешуйчатость шва, наличие брызг, возникновение поверхностных дефектов (подрез, наплыв, непровар, прожог и прочие).

Ведение дуги производится таким образом, чтобы обеспечить проплавление свариваемых кромок и получить требуемое качество наплавленного металла при хорошем формировании шва. Это достигается поддержанием постоянства длины дуги и соответствующим перемещением конца электрода.

В процессе сварки электроду может быть сообщено движение в трех направлениях. Первое движение – поступательное по оси электрода, поддерживающее постоянную длину дуги в зависимости от скорости расплавления покрытого электрода. Длина дуги при ручной дуговой сварке в зависимости от условий

сварки и марки электрода должна быть в пределах $(0,5-1,2)d_{эл}$. Чрезмерное уменьшение длины дуги ухудшает формирование шва и может привести к короткому замыканию дугового промежутка. Чрезмерное увеличение длины дуги приводит к снижению глубины проплавления, увеличению разбрызгивания электродного металла и ухудшению качества шва как по форме, так и по механическим свойствам, а при сварке электродами с покрытием основного вида – и к порообразованию.

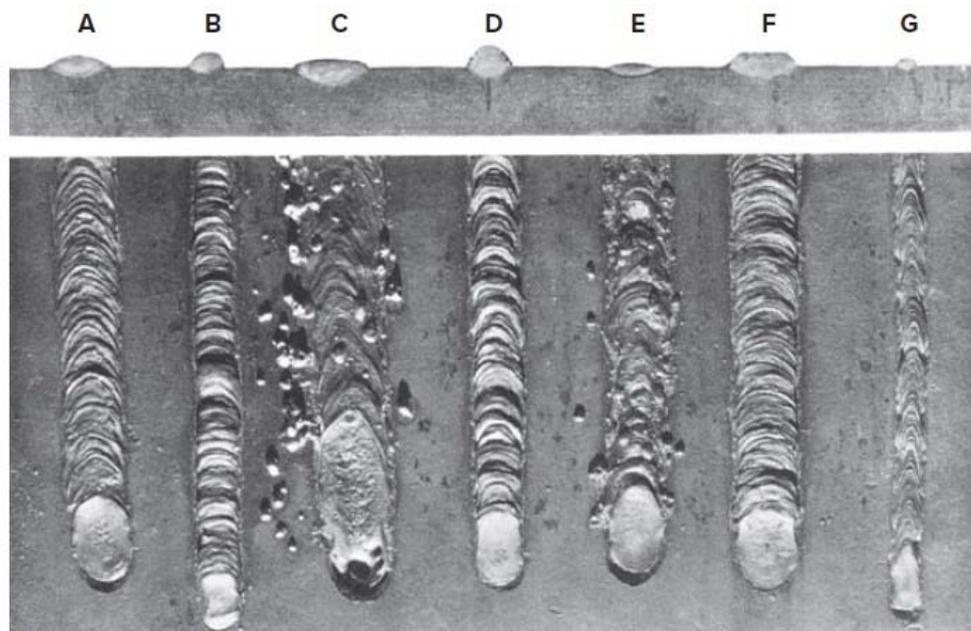


Рис. 1.2. Внешний вид валиков наплавки при различных параметрах режима РДС [3]:
A – ток, напряжение и скорость в норме; *B* – слишком низкий ток; *C* – слишком высокий ток;
D – напряжение слишком низкое, короткая дуга; *E* – напряжение слишком высокое, длинная дуга; *F* – слишком низкая скорость сварки; *G* – слишком высокая скорость сварки

Второе движение – перемещение электрода вдоль оси валика шва с определенной скоростью, зависящей от силы тока, диаметра электрода, скорости его плавления, вида шва и других факторов. При отсутствии поперечных движений электрода получается узкий шов (ниточный валик) шириной примерно 1,5 диаметра электрода. Такие швы применяют при сварке тонких листов, наложении первого (корневого) слоя многослойного шва, сварке по способу опирания и в других случаях.

Третье движение – перемещение электрода поперек шва с целью обеспечения нужной ширины шва и глубины проплавления свариваемых кромок. Поперечные колебания конца электрода определяются формой разделки кромок, размерами и положением шва, свойствами свариваемого материала, навыком сварщика. Ширина швов, получаемых с поперечными колебаниями, обычно составляет $(1,5-5)d_{эл}$.

Для проведения опытов по сварке образцов в лабораторной работе будет использоваться выпрямитель инверторного типа Fronius TransPocket 2500 TIG (табл. 1.1), который используется для выполнения ручной дуговой сварки по-

крытыми электродами (ММА) и аргодуговой сварки вольфрамовым электродом (TIG). Внешний вид источника питания и его панели управления показаны на рис. 1.3 и рис. 1.4 соответственно.

Таблица 1.1

Основные технические характеристики Fronius TransPocket 2500 TIG

№ п/п	Характеристика	Значение
1	Напряжение электросети (U_1)	380 В
2	Частота сети	50/60 Гц
3	Диапазон сварочного тока (I_2) при MMA	15–250 А
4	Диапазон сварочного тока (I_2) при TIG	15–250 А
5	Диапазон напряжений на дуге (U_2) при MMA	20,6–30 В
6	Диапазон напряжений на дуге (U_2) при TIG	10,6–20 В
7	Напряжение холостого хода (U_0)	88 В
8	Напряжение холостого хода VRD	12 В
9	Размеры Д × Ш × В	430 × 180 × 320 мм
10	Масса	12,5 кг



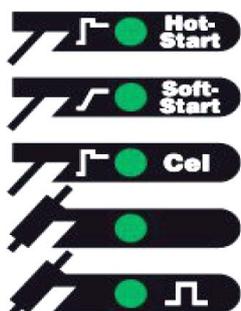
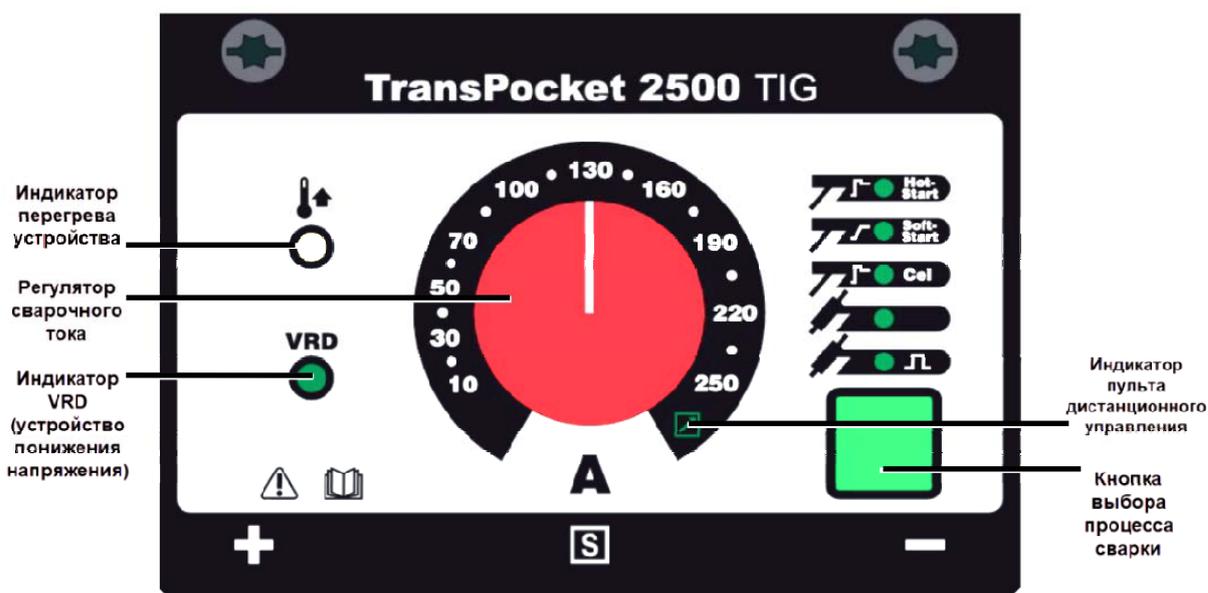
Рис. 1.3. Внешний вид источника питания Fronius TransPocket 2500 TIG

Благодаря компактным размерам и малому весу данная модель предназначена для работы на строительных и монтажных площадках, требующих транспортировки оборудования. При стационарном использовании в мастерских или на промышленных объектах эти источники питания также чрезвычайно эффективны и экономичны.

Функция HotStart обеспечивает кратковременное (1,5 секунды) повышение сварочного тока приблизительно на 30 % от установленного на регуляторе тока (например, на регуляторе установлено 90 А, ток горячего пуска $1,3 \cdot 90 = 117$ А).

Функция SoftStart предназначена для электродов с основным покрытием. Зажигание дуги осуществляется при низком сварочном токе (30–50 А). После стабилизации дуги сварочный ток повышается до номинального значения, установленного на регуляторе.

При уменьшении длины сварочной дуги напряжение может упасть до таких значений, при которых электрод прилипает к деталям. Функция Anti-Stick предотвращает прилипание электрода посредством выключения сварочного тока.



ручная дуговая сварка (ММА) с функцией HotStart (горячий старт), рекомендована для рутилового покрытия (R);
 ручная дуговая сварка (ММА) с функцией SoftStart (мягкий старт), рекомендована для основного покрытия (B);
 ручная дуговая сварка (ММА) электродами с целлюлозным покрытием (C);
 сварка в инертном газе неплавящимся электродом TIG;
 сварка TIG импульсной дугой.

Рис. 1.4. Элементы управления и индикаторы Fronius TransPocket 2500 TIG

Устройство понижения напряжения (VRD) предназначено для экономии электроэнергии, потребляемой источником питания в режиме холостого хода (когда дуга не горит). Индикатор VRD имеет зеленый цвет, если данная функция активирована и напряжение холостого хода менее 35 В, красный цвет – если VRD активировано и напряжение холостого хода превышает 35 В, индикатор VRD не светится, если установленное значение напряжения холостого хода находится вне диапазона понижения.

Оборудование, приборы и материалы

Сварочный пост с Fronius TransPocket 2500 TIG.

Сварочные электроды с основным (В), рутиловым (R) или целлюлозным (С) видами покрытия.

Образцы: пластины из низкоуглеродистой стали.

Секундомер.

Набор слесарного инструмента, маркер по металлу.

Набор измерительного инструмента: штангенциркуль, линейка, УШС-2 (катетомер).

Защитные щитки, спецодежда.

Порядок проведения работы

1. В обязательном порядке ознакомиться с содержанием раздела «Техника безопасности при проведении лабораторных работ».

2. Замерить штангенциркулем диаметры выданных электродов, определить их марку и тип покрытия. Замерить толщину основного металла. Данные внести в таблицу с экспериментальными данными (табл. 1.2).

Таблица 1.2

Исходные и экспериментальные данные

№ опыта	Диаметр электрода $d_{эл}$, мм	Марка электрода	Вид электродного покрытия	Толщина основного металла, мм	Пространственное положение сварки	Параметры режима сварки				Катет шва К, мм	Характеристика стабильности горения дуги, описание внешнего вида шва, наличие дефектов
						Полярность	Сила тока, $I_{св}$, А	Время горения дуги, t , с	Скорость сварки, $V_{св}$, м/с		
1			R			DC (+)			формула (1.1)		
2			R			DC (-)					
3			B			DC (+)					
4			B			DC (-)					

3. Зачистить пластины основного металла на расстоянии 20 мм от свариваемых кромок, провести разметку по рис. 1.5, а. Нарисовать в отчете эскиз сварного соединения с разметкой.

4. Изучить элементы управления источником питания Fronius TransPocket 2500 TIG, настроить оборудование на заданный режим сварки (в т. ч. обеспечить нужную полярность).

5. Прихватить пластины двумя прихватками по 10–15 мм каждая.

6. Выполнить сварку требуемой длины шва согласно эскизу, поддерживать дугу длиной $(0,5-1)d_{эл}$. Обеспечивать постоянную скорость сварки (по разметке маркером). Секундомером замерить время горения дуги t . Если в процессе сварки были обрывы дуги, фиксировать данный факт в отчете.

7. После сварки измерить катет углового шва шаблоном УШС-2 по рис. 1.6.

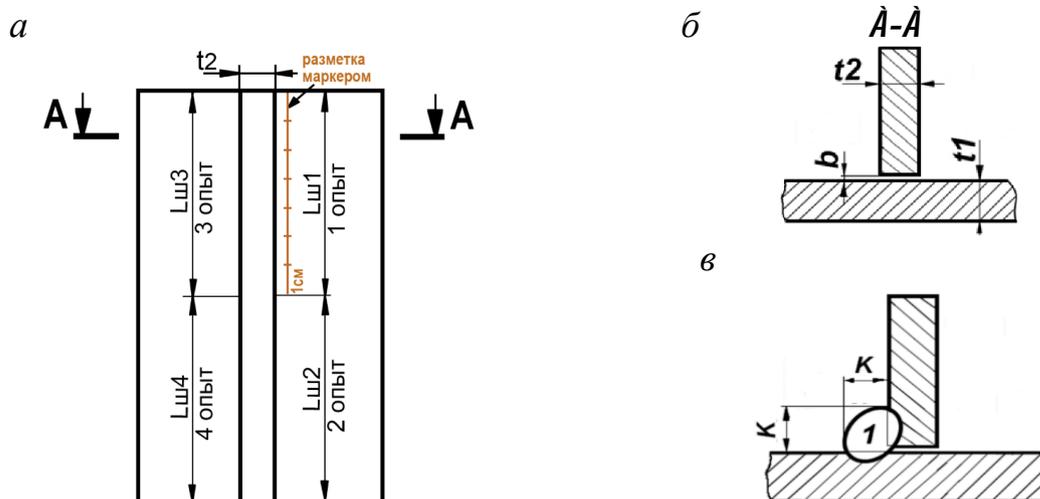


Рис. 1.5. Экспериментальный образец таврового соединения:

a – разметка длин швов; *б* – подготовка кромок под сварку по ГОСТ 5264-80; *в* – конструктивные элементы сварного шва; t_1, t_2 – толщина основного металла, мм; b – зазор между деталями, мм; K – катет углового шва, мм

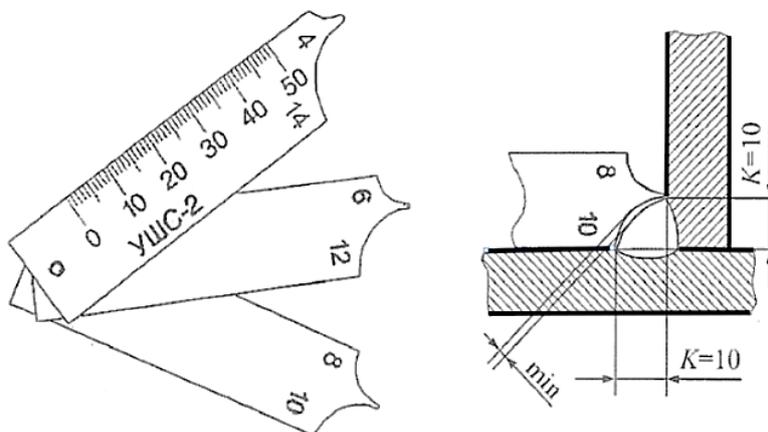


Рис. 1.6. Измерение катета шва шаблоном УШС-2

8. Определить скорость сварки $V_{св}$, м/с, по формуле:

$$V_{св} = \frac{L_{ш}}{t}, \quad (1.1)$$

где $L_{ш}$ – длина шва, м;

t – время горения дуги, с.

9. Оценить внешний вид сварного шва, наличие дефектов, данные внести в табл. 1.2.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Таблица с результатами экспериментов и расчетами.
4. Краткая характеристика результатов экспериментов.
5. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные параметры режима РДС.
2. Охарактеризуйте влияние сварочного тока на форму и размеры шва.
3. Что означает обратная полярность при сварке?
4. Как изменяются параметры режима РДС при увеличении длины дуги?
5. Какими стандартами регламентируются размеры сварных швов при РДС?
6. Как определяли скорость сварки при выполнении эксперимента?
7. Как измеряли катеты сварных швов, полученные в ходе проведения опыта?

Лабораторная работа № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОЛИ ОСНОВНОГО МЕТАЛЛА В МЕТАЛЛЕ ШВА И ПОГОННОЙ ЭНЕРГИИ СВАРКИ (4 ЧАСА)

Цель работы: получить практические навыки нахождения доли основного металла в сварном шве и расчета погонной энергии сварки.

Общие теоретические сведения

Процессы сварки и наплавки характеризуются наличием ряда регулируемых параметров режима: сварочным током, напряжением дуги, полярностью тока, скоростью сварки и т. д., величина которых должна сохраняться относительно стабильной. Вариация этих параметров приводит к изменению геометрических параметров и доли участия основного металла в шве.

Сварной шов состоит из наплавленного (присадочного) металла и основного металла, которые перемешиваются в процессе сварки и образуют металл шва, имеющий свой собственный химический состав, а иногда и структуру, отличную от основного или наплавленного металла. Химический состав металла шва можно регулировать, изменяя доли участия основного и наплавленного металла, применяя определенный тип подготовки кромок и технику наложения валиков многопроходных швов.

Наиболее простым вариантом оценки химического состава металла шва является расчет по смешению:

$$[\mathcal{E}_i]_{\text{шов}} = [\mathcal{E}_i]_{\text{осн}} \cdot \theta_{\text{осн}} + [\mathcal{E}_i]_{\text{напл}} \cdot (1 - \theta_{\text{осн}}), \quad (2.1)$$

где $[\mathcal{E}_i]_{\text{шов}}$ – содержание элемента в металле сварного шва, %;

$[\mathcal{E}_i]_{\text{осн}}$ – содержание элемента в основном металле, %;

$[\mathcal{E}_i]_{\text{напл}}$ – содержание элемента в наплавленном (присадочном) металле, %;

$\theta_{\text{осн}}$ – доля участия основного металла в шве.

Химический состав основного и наплавленного металла можно найти в ТНПА (ГОСТ, СТБ, ТУ и т. д.) или сертификатах соответствия на материалы, а долю участия оценить теоретически и экспериментально. Формула (2.1) дает приблизительный результат, но очень удобна для предварительной оценки химического состава шва. Например, при многослойной сварке доли участия основного и присадочного металла при выполнении каждого слоя могут изменяться. Это приводит к изменению химического состава металла слоя и образованию послойной химической неоднородности металла шва. При этом в пределах каждого слоя распределение элементов может быть сравнительно равномерным.

При решении конкретных производственных задач в одних случаях необходимо обеспечивать максимальную глубину проплавления основного металла, например, при сварке толстого металла без разделки кромок (рис. 2.1, а) или

тонкого металла без зазора (рис. 2.1, б). В данном случае металл шва будет преимущественно состоять из основного металла и доля $\theta_{\text{осн}}$ будет высокой (более 60 %, т. е. $\theta_{\text{осн}} > 0,6$). При наплавке, сварке разнородных или двуслойных плакированных сталей, сварке с разделкой кромок требуется расплавить минимальное количество основного металла (табл. 2.1). В этом случае металл шва будет преимущественно состоять из наплавленного металла и доля $\theta_{\text{осн}}$ будет малой (рис. 2.1, в, з).

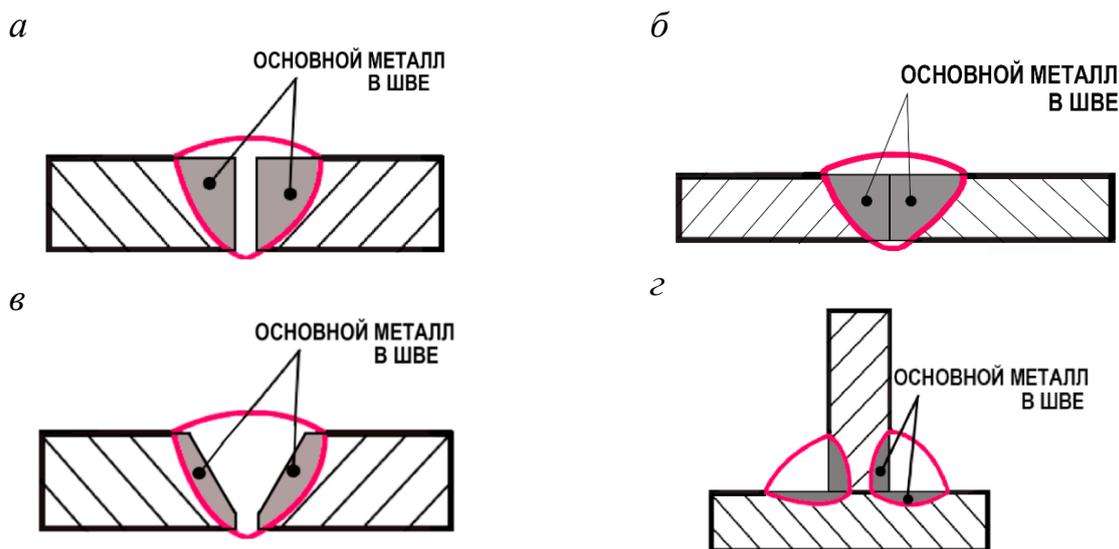


Рис. 2.1. Доля основного металла в швах:

а – стыковой без разделки кромок с зазором; б – стыковой без разделки кромок без зазора; в – стыковой с V-образной разделкой; з – угловой без разделки кромок

Таблица 2.1

Предельные доли участия основного металла конструкционной перлитной стали в высоколегированном металле наплавки

Доля участия $\theta_{\text{осн}}$, %	Сварочная проволока (ГОСТ 2246-80)	Электроды	
		Марка	Тип по ГОСТ 10052-75
30	Св-08Х25Н13	ОЗЛ-6	Э-10Х25Н13Г2
	Св-07Х25Н12Г2Г	ЦЛ-9	Э-10Х25Н13Г2Б
45	Св-10Х16Н25АМ6	АНЖР-3У	Э-08Х24Н25М3Г2
	ЭП622 (08Х25Н25М3)	ЦТ-10	Э-11Х15Н25М6АГ2
60	ЭП606 (09Х25Н60М10)	АНЖР-1	Э-08Х25Н60М10Г2
	ЭП673 (08Х25Н40М7)	АНЖР-2	Э-06Х25Н40М7Г2

Для проведения теоретических расчетов требуется определить ряд величин, среди которых эффективная тепловая мощность дуги q – количество теплоты, введенное за единицу времени в металл изделия и затраченное на его нагрев, и погонная энергия сварки $q_{\text{п}}$.

Эффективная мощность дуги q , Вт (Дж/с), определяется по формуле:

$$q = U_d \cdot I_{св} \cdot \eta_{эфф}, \quad (2.2)$$

где U_d – напряжение на дуге (разность потенциалов между электрододержателем и деталями), В;

$I_{св}$ – сила сварочного тока, проходящего по электроду, А;

$\eta_{эфф}$ – эффективный КПД процесса нагрева изделия дугой, представляющий отношение количества теплоты, введенного дугой в изделие, к тепловому эквиваленту электрической мощности дуги.

Значения эффективного КПД нагрева для различных способов сварки приведены в табл. 2.2 [6].

Таблица 2.2

Значения эффективного КПД нагрева $\eta_{эфф}$

Номер процесса сварки	Процесс сварки	$\eta_{эфф}$
121	Дуговая сварка под флюсом сплошной проволокой	1
111	Дуговая сварка покрытым электродом (РДС)	0,8
135	Дуговая сварка в среде активных газов плавящимся электродом (MIG)	0,8
131	Дуговая сварка в среде активных газов плавящимся электродом (MAG)	0,8
136, 137	Дуговая сварка порошковой проволокой	0,8
141	Дуговая сварка в среде активных газов неплавящимся электродом (TIG)	0,6

Электрическую мощность дуги, равную произведению $U_d \cdot I_{св}$, Вт, можно приблизительно определить с помощью цифровых дисплеев источника питания. Эффективная погонная энергия сварки $q_{п}$, т. е. количество теплоты, вводимое в единицу длины шва, находится из выражения:

$$q_{п} = \frac{q}{V_{св}}, \quad (2.3)$$

где $q_{п}$ – эффективная погонная энергия сварки, Дж/мм;

$V_{св}$ – скорость сварки (перемещения сварочной ванны), мм/с.

Формулы (2.2) и (2.3) являются применимыми, если сварочный ток и напряжение незначительно колеблются относительно своих постоянных значений. Но для многих режимов современных источников питания сварочной дуги тра-

диционная формула (2.3) дает большую погрешность и неадекватна при импульсной сварке (например, р-GTAW или р-GMAW) или в случае использования источников питания со сложными формами изменения тока (например, Lincoln STT, Fronius CMT, ESAB Superpulse, Kemppi WISEROOT и т. д.).

В случае применения сварочного тока или напряжения сложной формы (изменяющихся во времени для контроля переноса электродного металла, глубины проплавления, формы шва) формула (2.3) может давать погрешность расчета около 70 %, поэтому применяются другие два метода расчета (формулы (2.4), (2.5)) согласно ISO / TR 18491:

$$q_{\text{п}} = \frac{IE}{L}, \quad (2.4)$$

где IE – мгновенная энергия при сварке, кДж;

L – длина шва, мм.

Мгновенная энергия при сварке определяется суммированием произведения измерений тока и напряжения, выполненных с малыми временными интервалами, которые фиксируют изменения формы сварочного тока.

$$q_{\text{п}} = \frac{IP}{v_{\text{св}}}, \quad (2.5)$$

где IP – мгновенная мощность при сварке, Вт;

Мгновенная мощность при сварке определяется путем усреднения произведения измерений тока и напряжения, выполненных во времени с малыми интервалами, которые фиксируют изменения формы сварочного сигнала. Для измерения мгновенной мощности или мгновенной энергии можно использовать сварочный источник питания или внешний ваттметр, способный вычислять и отображать энергию или мощность. Частота измерений должна быть достаточной для фиксации изменений формы сварочного тока (обычно используется частота дискретизации, по крайней мере, в 10 раз превышающая частоту изменения формы тока).

Доля основного металла в шве определяется по формуле:

$$\theta_{\text{осн}} = \frac{\gamma_{\text{осн}} \cdot F_{\text{осн}}}{\gamma_{\text{осн}} \cdot F_{\text{осн}} + \gamma_{\text{н}} \cdot F_{\text{н}}}, \quad (2.6)$$

где $\gamma_{\text{осн}}$ и $\gamma_{\text{н}}$ – плотность основного и наплавленного металлов, г/см³;

$F_{\text{осн}}$ и $F_{\text{н}}$ – площади поперечного сечения основного и наплавленного металлов в шве, см².

Если плотности основного и наплавленного металла равны $\gamma_{\text{осн}} \approx \gamma_{\text{н}}$, то формула (2.6) может быть преобразована:

$$\theta_{\text{осн}} = \frac{F_{\text{осн}}}{F_{\text{осн}} + F_{\text{н}}} = \frac{F_{\text{осн}}}{F_{\text{ш}}}, \quad (2.7)$$

где $F_{\text{ш}}$ – площадь сечения шва, см².

Для проведения опытов по сварке образцов в лабораторной работе будет использоваться инвертор Fronius MagicWave 2200 (табл. 2.3), который применяется для выполнения ручной дуговой сварки покрытыми электродами (ММА) и аргонодуговой сварки вольфрамовым электродом (TIG).

Таблица 2.3

Основные технические характеристики Fronius MagicWave 2200

№ п/п	Характеристика	Значение
1	Напряжение электросети (U_1)	230 В
2	Частота сети	50/60 Гц
3	Диапазон сварочного тока (I_2) при ММА	10–180 А
4	Диапазон сварочного тока (I_2) при TIG	3–220 А
5	Диапазон напряжений на дуге (U_2) при ММА	20,4–27,2 В
6	Диапазон напряжений на дуге (U_2) при TIG	10,1–18,8 В
7	Напряжение холостого хода (U_0)	88 В
8	Размеры Д × Ш × В	485 × 180 × 390 мм
9	Масса	17,8 кг

Внешний вид источника питания и его панели управления показаны на рис. 2.2 и рис. 2.3 соответственно.

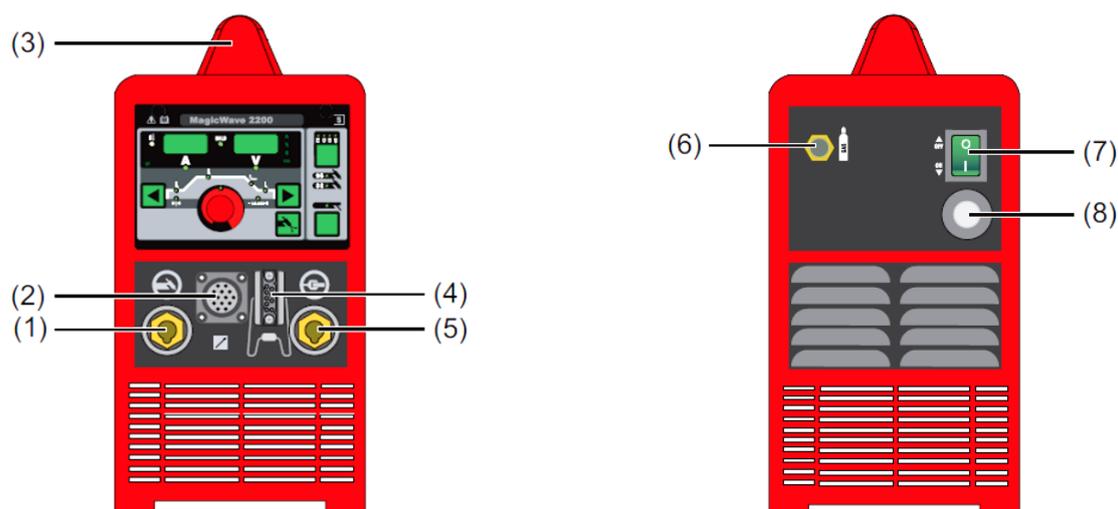


Рис. 2.2. Внешний вид источника питания Fronius MagicWave 2200:

- 1 – соединитель для подключения электрододержателя; 2 – локальное сетевое соединение для подключения дополнительных функций; 3 – ручка для переноса; 4 – соединение для управления горелкой; 5 – соединитель для подключения зажима массы (земля); 6 – соединитель для подачи защитного газа; 7 – кнопка вкл/выкл; 8 – сетевой кабель

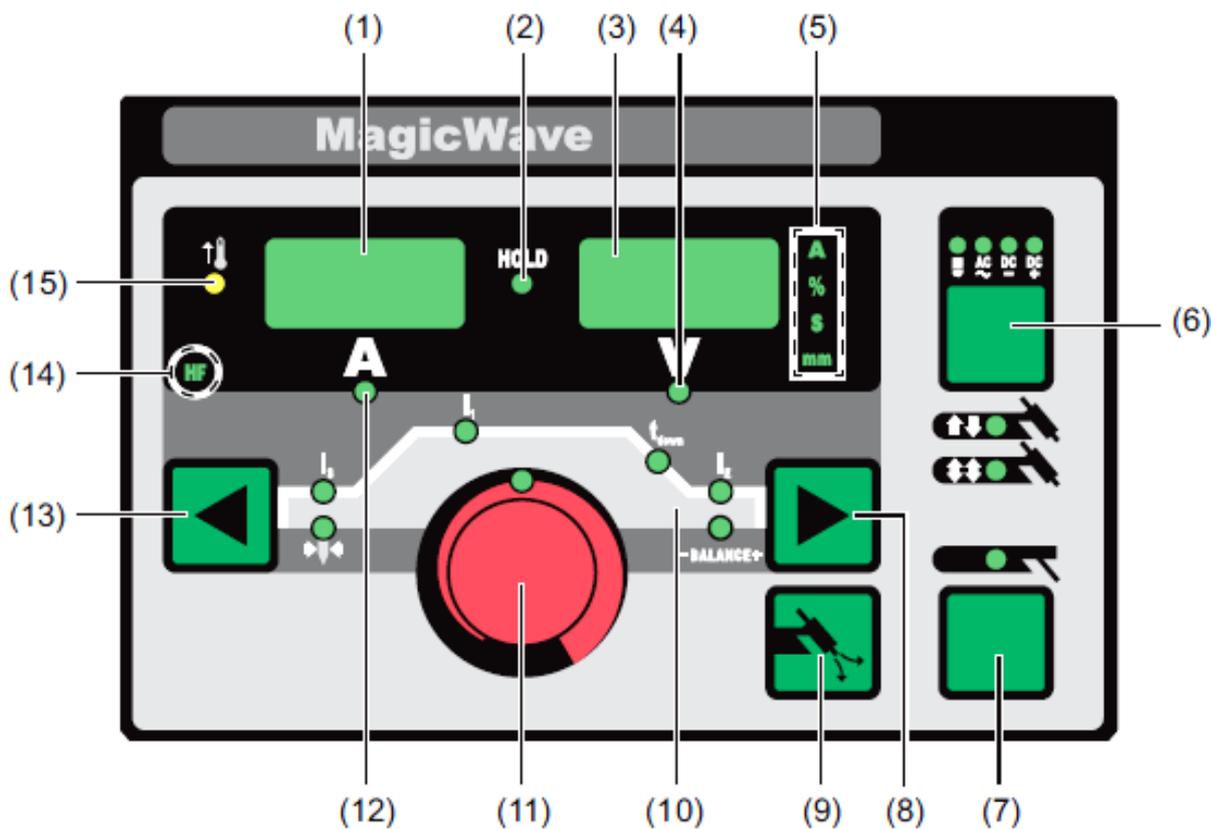


Рис. 2.3. Элементы управления и индикаторы Fronius MagicWave 2200:

1 – левый цифровой дисплей; 2 – индикатор удержания фактических значений сварочного тока и напряжения в конце каждой сварочной операции; 3 – правый цифровой дисплей; 4 – индикатор напряжения на дуге (загорается при выборе параметра I_1); 5 – индикаторы единиц измерения; 6 – кнопка выбора рода тока: автоматическое формирование наконечника неплавящегося электрода при TIG на переменном токе, переменный ток, постоянный ток прямой полярности, постоянный ток обратной полярности; 7 – кнопка выбора режима: двухтактный; четырехтактный; ручная дуговая сварка; 8 – кнопка выбора параметров справа; 9 – кнопка проверки защитного газа (при ее нажатии газ течет в течение 30 секунд); 10 – циклограмма параметров режима: стартовый ток при TIG I_S (% от I_1), сварочный ток I_1 (A), время снижения тока при TIG t_{down} (с), ток окончания сварки при TIG I_E (% от I_1), баланс переменного тока при TIG (диапазон значений ± 5 : при -5 достигается максимальное проплавление деталей при минимальной их очистке (катодное распыление электрода), при $+5$ достигается минимальное проплавление деталей при максимальной их очистке), диаметр неплавящегося электрода ; 11 – регулятор для изменения параметров режима сварки; 12 – индикатор параметров тока (перед началом сварки на левом цифровом дисплее отображается заданное значение сварочного тока I_1 , а правый дисплей показывает соответствующий процент от сварочного тока для I_S и I_E , при начале сварки на левом цифровом дисплее отображается фактическое значение сварочного тока I_1); 13 – кнопка выбора параметров слева; 14 – индикатор высокочастотного (бесконтактного) зажигания дуги; 15 – индикатор перегрева

Оборудование, приборы и материалы

Сварочный пост с источником питания Fronius MagicWave 2200.
 Сварочные электроды.
 Образцы: пластины из низкоуглеродистой стали.
 Секундомер, мультиметр Щ4300.
 Набор слесарного инструмента, маркер по металлу.
 Набор измерительного инструмента: штангенциркуль, линейка, УШС-3.
 Набор слесарного инструмента.
 Набор измерительного инструмента.
 Миллиметровая бумага.
 Защитные щитки, спецодежда.

Порядок проведения работы

1. В обязательном порядке ознакомиться с содержанием раздела «Техника безопасности при проведении лабораторных работ».
2. Замерить штангенциркулем диаметры выданных электродов, определить их марку. Данные внести в табл. 2.4.
3. Зачистить пластины основного металла на расстоянии 50 мм в обе стороны от стыка, провести разметку по рис. 2.4.
4. Изучить элементы управления источником питания Fronius MagicWave 2200, настроить оборудование на заданный преподавателем режим сварки. На пробном образце для выданного диаметра электрода подобрать силу сварочного тока и напряжение на дуге.

Таблица 2.4

Исходные данные и результаты эксперимента

№ опыта	Марка и диаметр электрода	Сила сварочного тока $I_{св}$, А	Напряжение на дуге $U_{д}$, В	Время горения дуги t , с	Скорость сварки $V_{св}$, мм/с	Глубина проплавления h , мм	Ширина валика шва e , мм	Высота выпуклости шва g , мм	Площадь наплавленного металла $F_{н}$, мм ²	Площадь основного металла $F_{осн}$, мм ²	Площадь поперечного сечения шва $F_{ш}$, мм ²	Доля основного металла в шве $\theta_{осн}$	Погонная энергия сварки по данным эксперимента $q_{ш}$, Дж/мм

Потренироваться осуществлять наплавку с одинаковой скоростью сварки: если за 3 с проходить 1 см шва, тогда скорость сварки $V_{CB} = 0,33 \text{ см/с} = 3,3 \text{ мм/с} = 11,9 \text{ м/ч}$. Время измерять секундомером, длину валиков наплавки (10 см) по разметке необходимо пройти за одинаковое время.

5. Наплавить перпендикулярно стыку валики при различном значении силы сварочного тока и напряжения: 1-я наплавка – минимальные значения, 2-я наплавка – средние значения, 3-я наплавка – максимальные значения. **Наплавку каждого последующего валика производить только после ее охлаждения в воде (для устранения предварительного подогрева).**

Обеспечить наплавку требуемой длины валика согласно рис. 2.4, поддерживать дугу длиной $(0,5-1)d_{эл}$. Обеспечить постоянную скорость сварки (по разметке маркером). Секундомером замерить время горения дуги t . Определить скорость сварки V_{CB} , м/с, по формуле (1.1). Данные внести в табл. 2.4. Записать значения сварочного тока и напряжения по дисплеям источника питания.

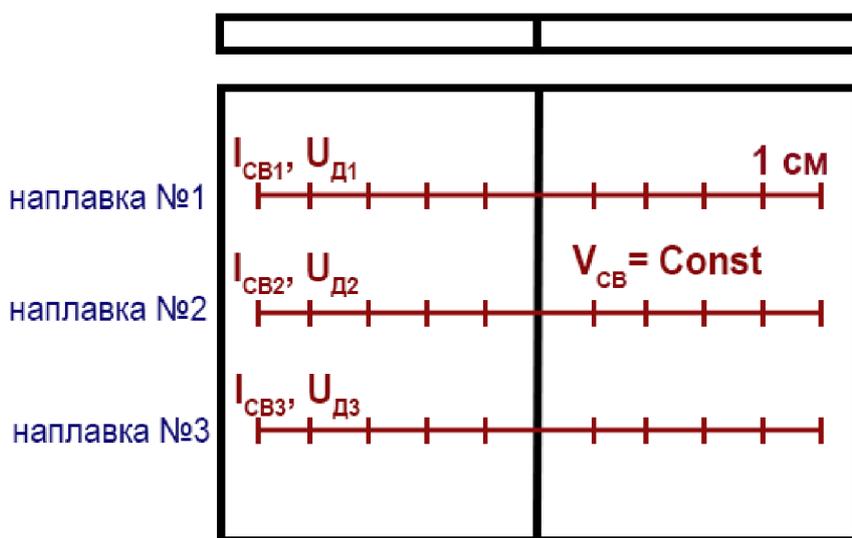


Рис. 2.4. Разметка образца для наплавки валиков на стык двух пластин

6. Разрушить образцы по линии стыка. На месте излома получаем поперечные сечения валиков наплавки. Измерить штангенциркулем и линейкой геометрические характеристики наплавленных валиков (h , e , g) и занести данные в табл. 2.4. Схема измерения выпуклости шва g показана на рис. 2.5. Шаблон УШС-3 устанавливается поверхностью А на образец, движок опускается до соприкосновения его подвижного указателя l с самой высокой точкой сварного шва, искомое значение определяется по шкале 2.

7. На миллиметровой бумаге в масштабе 10:1 нарисовать эскиз сечения наплавки (максимально приблизить эскиз к профилю, полученному в эксперименте) и по клеткам вычислить площадь основного и наплавленного металла (рис. 2.6).

8. Рассчитать долю основного металла в шве по формуле (2.6).

9. Рассчитать q_{II} по формулам (2.2) и (2.3).

10. Сделать выводы о влиянии параметров режима сварки и погонной энергии на геометрические характеристики шва, доли основного и наплавленного металла.

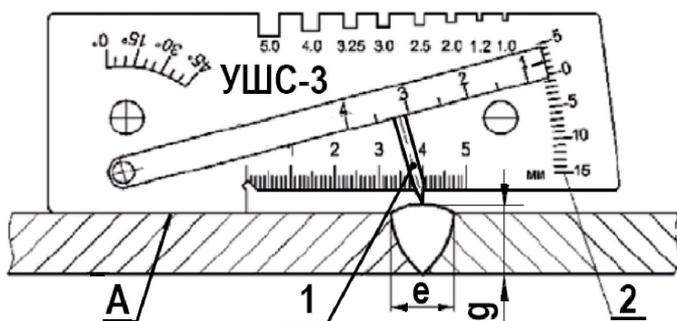


Рис. 2.5. Схема измерения выпуклости шва g шаблоном УШС-3

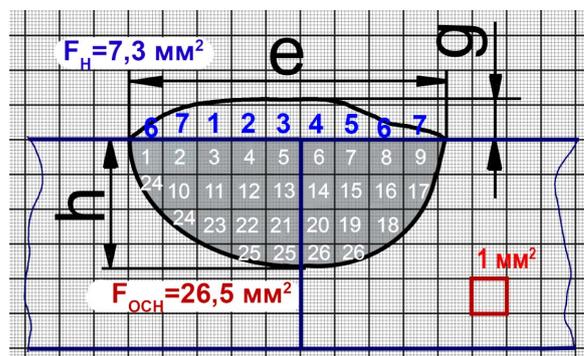


Рис. 2.6. Определение площадей основного и наплавленного металла

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Таблица с результатами экспериментов.
4. Эскизы на миллиметровой бумаге валиков, расчеты.
5. Краткая характеристика результатов экспериментов.
6. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Что такое погонная энергия сварки? Что она характеризует?
2. Что такое эффективный КПД процесса?
3. Как влияет погонная энергия на геометрические характеристики шва?
4. Как рассчитывается доля основного металла в сварочной ванне? Для чего необходим этот параметр?
5. Какими средствами проводили измерения геометрических параметров сварных швов?

Лабораторная работа № 3

ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕХАНИЗИРОВАННОЙ СВАРКИ В УГЛЕКИСЛОМ ГАЗЕ (4 ЧАСА)

Цель работы: ознакомиться с особенностями процесса, принципом выбора режимов и технологией дуговой сварки в углекислом газе. Изучить устройство и принцип работы сварочного оборудования.

Общие теоретические сведения

Дуговая сварка плавящимся электродом в активном (углекислом) газе (135 номер по СТБ ISO 4063, MAG) является одним из широко распространенных способов сварки в защитных газах. Как правило, сварка в углекислом газе выполняется на постоянном токе обратной полярности DC (+). Защита расплавленного металла сварочной ванны осуществляется струей углекислого газа (CO_2), подаваемого в зону горения дуги в зазор между токоподводящим мундштуком и соплом горелки. Сварочная проволока подается в зону горения дуги роликами, которые вращаются двигателем подающего механизма. Подвод сварочного тока к проволоке осуществляется через скользящий контакт. Схема протекания данного процесса сварки представлена на рис. 3.1.

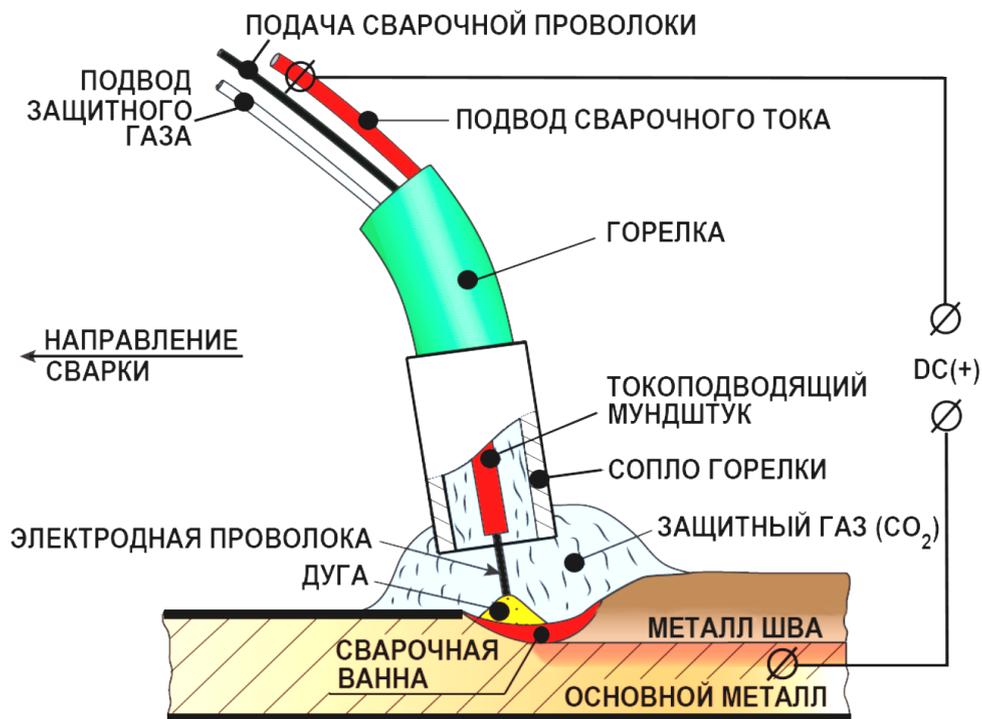


Рис. 3.1. Схема процесса дуговой сварки в защитном газе плавящимся электродом

Углекислый газ (диоксид углерода, двуокись углерода, угольный ангидрид, угольная кислота) – бесцветный газ почти без запаха с химической формулой CO_2 .

Плотность при нормальных условиях $1,839 \text{ кг/м}^3$ (в 1,5 раза тяжелее воздуха, что обеспечивает хорошую защиту сварочной ванны). При атмосферном давлении диоксид углерода не существует в жидком состоянии, переходя непосредственно из твердого состояния (сухой лед) в газообразное (возгонка). При повышенном давлении и обычных температурах углекислый газ переходит в жидкость, что используется для его хранения (поставляется в сжиженном состоянии в стальных баллонах черного цвета под давлением 5–6 МПа).

При температурах сварочной дуги углекислый газ диссоциирует:



При этом на диссоциацию углекислого газа расходуется около 20–25 % тепловой мощности дуги. В зоне, окружающей столб дуги и имеющей более низкую температуру, постоянно идет процесс рекомбинации молекул CO и O₂, сопровождающийся выделением теплоты.

Попадающие в зону сварки кислород и углекислый газ участвуют в реакциях окисления сварочной ванны:



При окислении сварочной ванны ухудшаются механические свойства шва и в первую очередь его пластичность. Для предотвращения этого процесса в сварочную ванну вводят элементы-раскислители, имеющие большее по отношению к железу сродство с кислородом (при сварке углеродистых и низколегированных сталей используют марганец (Mn), кремний (Si), алюминий (Al)).

Раскислители взаимодействуют с кислородом и выводят в шлак продукты химических реакций, восстанавливая железо из оксидов:



Введение раскислителей в сварочную ванну обычно осуществляется через проволоку, поэтому наиболее широко применимыми являются проволоки марок Св-08ГСА, Св-08Г2С, Св-10ГС, Св-07ГСЮ по ГОСТ 2246 или проволоки G3Si1, G4Si1 по ISO 14341.

Однако, несмотря на введение раскислителей, характеристики пластичности шва получаются ниже, чем при сварке под флюсом или ручной сварке электродами с основным покрытием. Поэтому сварку в CO₂ не рекомендуют использовать для ответственных конструкций, работающих при низких температурах в условиях переменных и ударных нагрузок.

Для проведения опытов по сварке образцов в лабораторной работе будет использоваться сварочная мультисистема Fronius TransPulse Synergic 5000 (TPS 5000), состоящая из источника питания (табл. 3.1), блока управления, механизма подачи электродной проволоки, пульта управления, горелки (рис. 3.2).

Основные технические характеристики источников питания TS/TPS 500

№ п/п	Характеристика	Значение
1	Напряжение электросети (U_1)	$3 \times 400 \text{ В} \pm 15 \%$
2	Частота сети	50/60 Гц
3	Диапазон сварочного тока (I_2) при MIG/MAG	3–500 А
4	Диапазон сварочного тока (I_2) при MMA	10–500 А
5	Диапазон сварочного тока (I_2) при TIG	3–500 А
6	Диапазон напряжений на дуге (U_2) при MIG/MAG	14,2–39 В
7	Диапазон напряжений на дуге (U_2) при MMA	20,4–40 В
8	Диапазон напряжений на дуге (U_2) при TIG	10,1–30 В
9	Напряжение холостого хода	70 В
10	Размеры Д × Ш × В	626 × 287 × 477 мм
11	Масса	35,6 кг

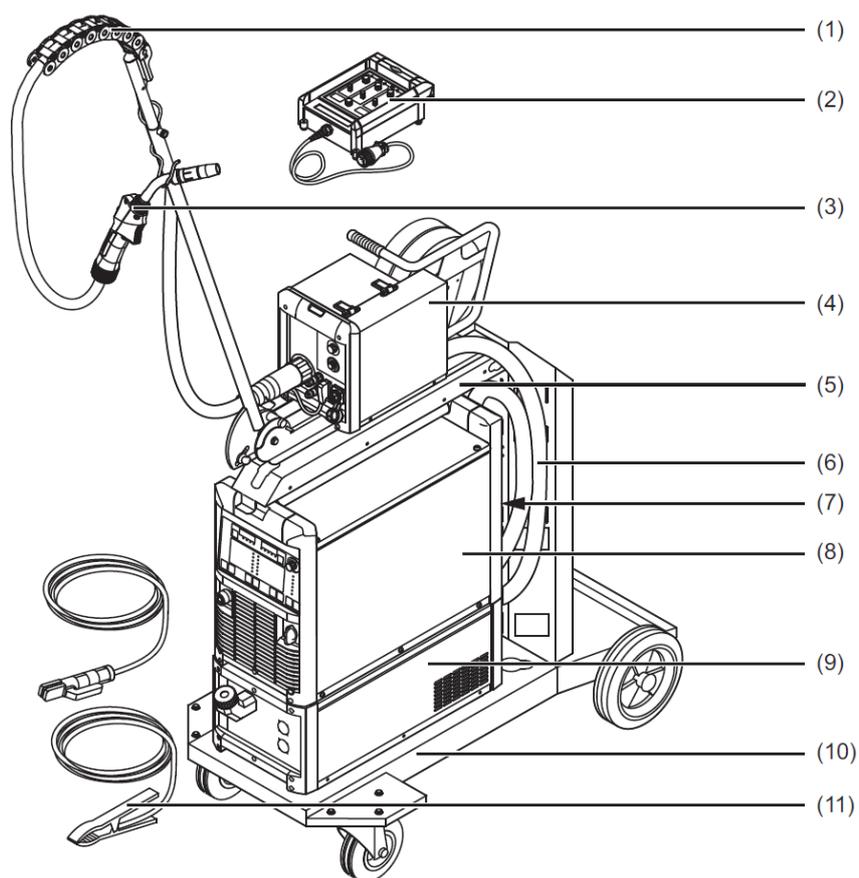


Рис. 3.2. Внешний вид мультисистемы Fronius TransPulse Synergic 5000:

1 – консоль Human; 2 – пульт дистанционного управления; 3 – горелка; 4 – механизм подачи проволоки; 5 – крепление устройства подачи проволоки; 6 – соединительные шланговые пакеты; 7 – принадлежности для роботизированной сварки; 8 – источник тока; 9 – охлаждающие модули; 10 – транспортная тележка и крепления для газового баллона; 11 – кабель массы и электродный кабель

Весь сварочный процесс и источник тока управляются совместно центральным блоком управления и соединенным с ним цифровым обработчиком сигналов. В процессе сварки аппарат непрерывно производит сбор фактических данных и немедленно реагирует на обнаруженные изменения. Блок управления предназначен для регулирования и стабилизации скорости подачи электродной проволоки, регулирования сварочного тока и напряжения.

Внешний вид панели управления показан на рис. 3.3.

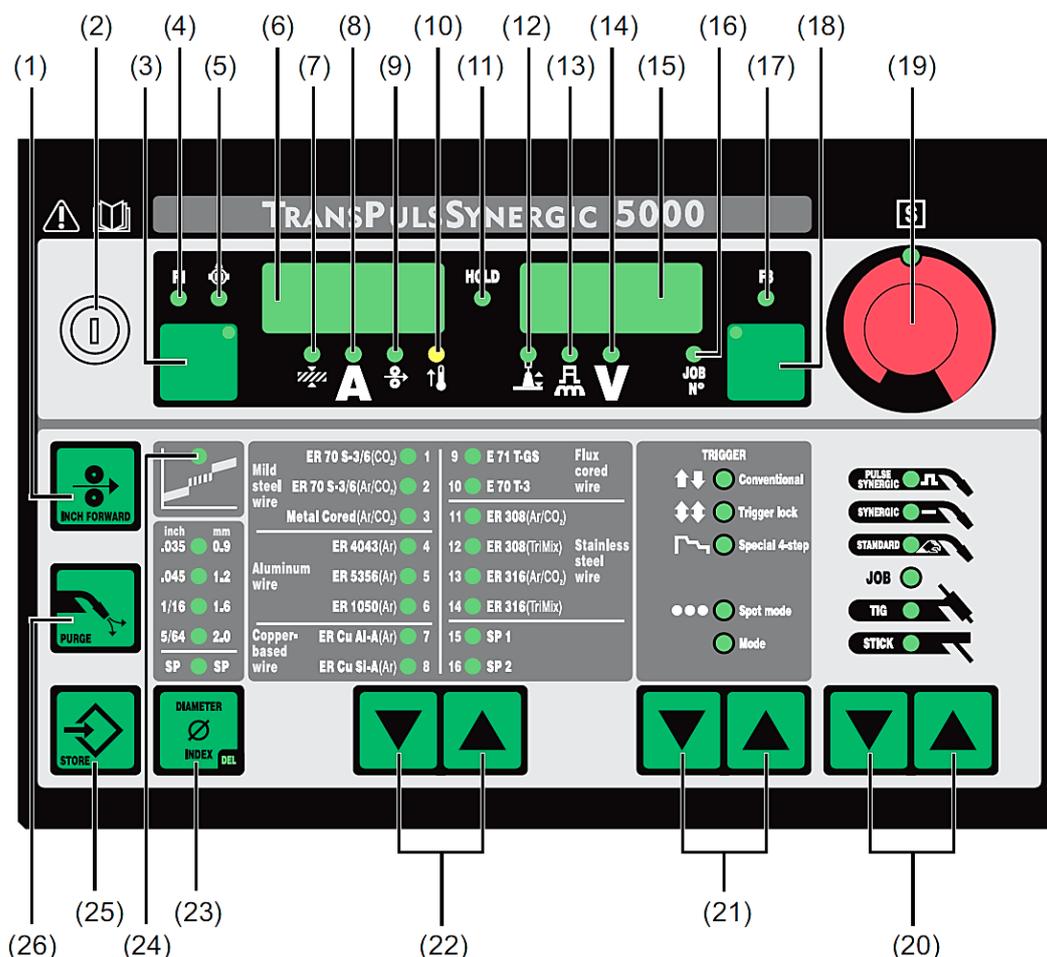


Рис. 3.3. Элементы панели управления TPS 500:

1 – кнопка Inch Forward «Заправка проволоки» (для заправки проволоки без подачи газа и тока в горелку); 2 – ключ (дополнительная опция): если ключ находится в горизонтальном положении, то недоступен ряд функций по выбору процесса сварки и параметров режима; 3 – кнопка «Выбор параметра» для выбора параметров 4, 5, 7, 8, 9, которые можно настраивать с помощью регулятора 19; 4 – индикатор F1 **F1** для индикации потребления электроэнергии приводом модуля «тяги-толкай»; 5 – индикатор **A** потребления электроэнергии приводом устройства подачи проволоки; 6 – левый цифровой дисплей; 7 – индикатор параметра «Толщина листа **mm**», мм; 8 – индикатор параметра «Сварочный ток **A**», А; 9 – индикатор параметра «Скорость подачи проволоки **m/min**», м/мин; 10 – индикатор перегрева устройства; 11 – индикатор HOLD, при завершении каждой операции сварки текущие фактические значения сварочного тока и сварочного напряжения сохраняются – индикатор HOLD светится; 12 – индикатор параметра «Коррекция длины дуги **V**»; 13 – индикатор параметров «Коррекции силы отрыва

капель»/«коррекции динамики»/«динамика »; 14 – индикатор сварочного напряжения ; 15 – правый цифровой дисплей; 16 – индикатор номера задания  для выбора сохраненных параметров режима; 17 – индикатор F3  для индикации фактической затраты энергии в кДж; 18 – кнопка «Выбор параметра» для выбора параметров 12, 13, 14, 15, 16, 17; 19 – регулятор; 20 – кнопки для выбора процесса сварки:  импульсная сварка MIG/MAG с режимом Synergic,  стандартная технология сварки MIG/MAG Synergic,  стандартная технология сварки MIG/MAG с выбором параметров режима вручную;  режим Job,  сварка TIG с контактным зажиганием,  сварка покрытым электродом; 21 – кнопка «Режим работы»:  двухтактный,  четырехтактный;  ручная дуговая сварка);  специальный четырехтактный режим (для старта сварки алюминия),  сварка точками,  режим Mode; 22 – кнопка «Тип материала» для выбора используемого присадочного материала и защитного газа; 23 – кнопка Diameter/Index («Диаметр проволоки»); 24 – индикация переходной дуги, свечение индикатора указывает на эту критическую область возникновения переходной дуги, от которой разлетаются брызги металла; 25 – кнопка «Сохранить» для входа в меню настроек; 26 – кнопка Purge «Проверка газа» для настройки необходимого расхода газа на редукторе, после ее нажатия на протяжении 30 секунд подается газ

Механизм подачи обеспечивает непрерывную подачу в зону дуги электродной проволоки с требуемой скоростью по мере ее расплавления. Для обеспечения стабильного процесса сварки скорость плавления электродной проволоки должна быть равна скорости ее подачи. В противном случае, произойдет либо замыкание проволоки на изделие, либо обрыв дуги вследствие чрезмерного увеличения ее длины. Для обеспечения оптимальной подачи проволоки подающие ролики должны соответствовать диаметру и материалу сварочной проволоки (рис. 3.4).



Рис. 3.4. Рабочие поверхности подающих роликов

Подготовка устройства подачи проволоки включает следующие этапы: установку подающих роликов; установку катушки с проволокой; заправку проволоки; настройку давления прижима (табл. 3.2, рис. 3.5); регулировку тормоза (если отпустить кнопку горелки, катушка не должна вращаться).

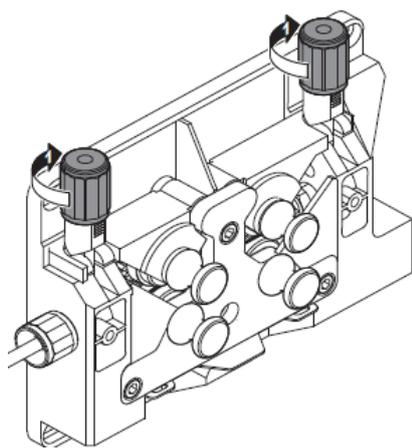


Рис. 3.5. Регулировка давления прижима

Настройка давления прижима

Материал	Ориентировочные значения давления прижима		
	полу-круглые ролики	трапецеидальные ролики	пластмассовые ролики
алюминий	1,5	–	3,5–4,5
сталь	3–4	1,5	–

Горелка служит для направления в зону дуги электродной проволоки, защитного газа и подвода к проволоке сварочного тока, при необходимости обеспечивает подачу охлаждающей воды. Конструкция горелки для сварки в защитных газах приведена на рис. 3.6. К горелке подсоединяется полый электросварочный кабель, который содержит в резиновой оболочке металлическую спираль, оплетенную медными токоподводящими жилами и тремя проводами управления. Спираль служит для прохождения проволоки, обеспечивает необходимую жесткость шланга и предотвращает резкие перегибы, затрудняющие проход проволоки. Спираль сменная и может заменяться по мере износа. Держатели, адаптеры и вставки под наконечник предназначены для фиксации непосредственно токосъемного наконечника в сопле. Горелка комплектуется сменными соплами для подвода и направления газа.

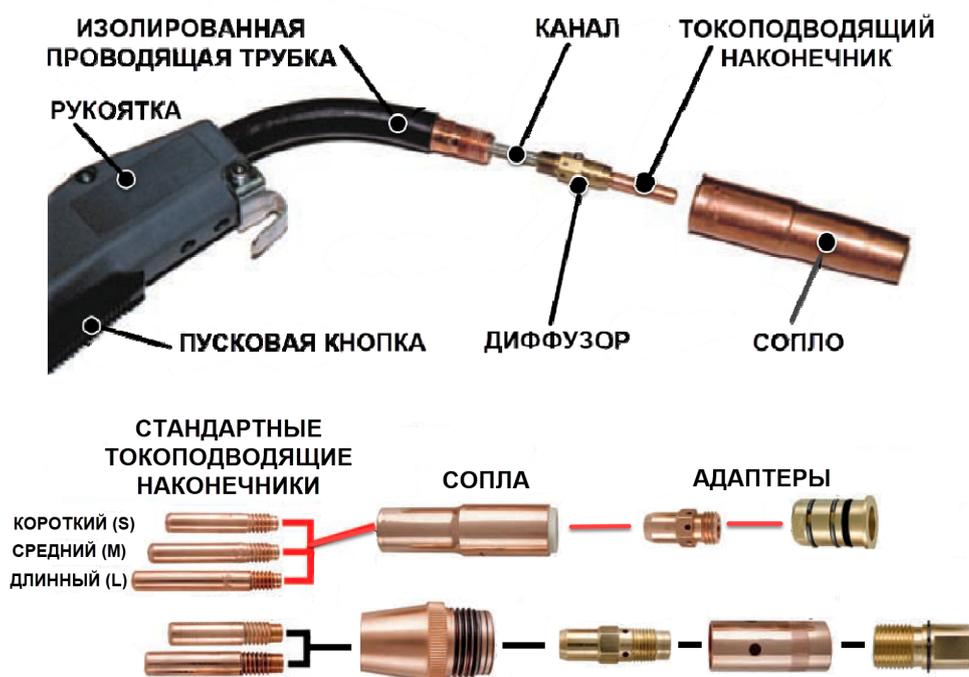


Рис. 3.6. Горелка для сварки в защитных газах плавящимся электродом (MAG)

Вылет электродной проволоки (расстояние между ее концом и токоподводящим наконечником) оказывает значительное влияние на устойчивость процесса сварки и качество формирования шва. С увеличением вылета ухудшается устойчивость горения дуги и увеличивается разбрызгивание. При сварке с очень малым вылетом затрудняется наблюдение за процессом и часто подгорает токоподводящий наконечник.

При нажатии пусковой кнопки на рукоятке происходит включение газового клапана и углекислый газ, проходя по системе, вытесняет из нее воздух. Спустя примерно одну секунду включаются источник питания и привод подачи электродной проволоки. Электродная проволока подается из кассеты по гибкому направляющему каналу в зону дуги. При замыкании электрода на заготовку зажигается дуга. При наличии длинных шлангов и удаленном расположении сварщика от подающего механизма рекомендуется предварительно продуть газовый шланг защитным газом.

Сварочное оборудование позволяет работать в разных режимах:

– двухтактный режим подходит для прихватки, сварки коротких швов и автоматического режима (робот). В данном режиме необходимо нажать пусковую кнопку (начнется предварительная подача газа) и удерживать ее нажатой в процессе сварки шва (выполняется сварка на заданных режимах), далее кнопка отпускается (сварочный ток выключается, и некоторое время протекает защитный газ);

– четырехтактный режим подходит для протяженных по длине швов. В данном режиме необходимо нажать пусковую кнопку и отпустить ее (начнется предварительная подача газа), и будет выполняться сварка на заданных режимах, в конце процесса сварки кнопка нажимается и отпускается (ток выключается, и некоторое время протекает защитный газ).

Для сварки в защитных газах отдельным моментом является настройка оборудования и аппаратуры для подачи защитного газа: газового редуктора, расходомера (ротаметра), подогревателя газа, осушителя газа и соединительных шлангов.

Для сварки используется преимущественно жидкая углекислота высшего (99,8 % CO_2) и первого (99,5 % CO_2) сортов по ГОСТ 8050. Углекислоту с ненормируемой ГОСТ 8050 концентрацией водяных паров возможно использовать для сварки при наличии осушителей газа.

Обычно отбор углекислоты ведется из баллона (согласно техническому регламенту ТР ТС 032 окраска баллона имеет черный цвет с надписью «углекислота» желтого цвета).

Для понижения давления газа, поступающего из баллона, и автоматического поддержания постоянного рабочего давления газа на выходе используется газовый редуктор, на котором установлены манометры для контроля давления.

При выходе CO_2 из баллона из-за его расширения происходит адиабатическое охлаждение газа; чтобы предотвратить замерзание канала прохода газа при перепаде давления, используются подогреватели газа.

Расходомеры (ротаметры) дают возможность регулировать и поддерживать постоянными давление и расход углекислого газа.

При сварке могут применяться универсальные редукторы, которые выполняют все функции: понижение давления, подогрев газа, регулировку расхода газа. Осушитель поглощает влагу из углекислого газа. Выпускается двух модификаций: высокого и низкого давления. Осушитель высокого давления устанавливается перед регулятором (редуктором), а низкого – после него. Влагопоглощающим веществом служит силикагель или алюмогликоль. Путем прокаливания при 250–300 °С эти вещества поддаются восстановлению.

Параметры режима дуговой сварки в углекислом газе: сила сварочного тока, полярность и напряжение дуги, диаметр и скорость подачи электродной проволоки, расход CO₂, скорость сварки и наклон горелки. Режим выбирается в зависимости от толщины и марки основного металла, типа соединения, пространственного положения шва.

Сила тока и полярность дуги определяют скорость расплавления электродной проволоки и глубину проплавления основного металла. С увеличением силы тока увеличивается глубина проплавления и повышается производительность сварки.

При дуговой сварке в углекислом газе на постоянном токе обратной полярности увеличивается разогрев проволоки и снижается глубина проплавления основного металла, увеличивается доля электродного металла в шве. В случае использования прямой полярности скорость расплавления основного металла в 1,5 раза выше, чем при РДС, но дуга горит менее стабильно и интенсивно разбрызгивается электродный металл.

Напряжение на дуге главным образом определяет характер горения и ее длину. Напряжение устанавливается в зависимости от выбранного сварочного тока и может изменяться в некотором диапазоне значений, что позволяет оказывать влияние на условия формирования шва. С увеличением напряжения дуги увеличивается ширина шва и уменьшается глубина проплавления основного металла.

Оборудование, приборы и материалы

Сварочный пост для механизированной сварки в защитных газах с мульти-системой Fronius TransPuls Synergic 5000.

Баллоны с углекислым газом, сварочная проволока Св-08Г2С.

Образцы: пластины из низкоуглеродистой стали.

Секундомер.

Набор слесарного инструмента, маркер по металлу.

Набор измерительного инструмента: штангенциркуль, линейка, УШС-3.

Защитные щитки, спецодежда.

Порядок проведения работы

1. В обязательном порядке ознакомиться с содержанием раздела «Техника безопасности при проведении лабораторных работ».

2. Замерить штангенциркулем диаметр проволоки, толщину основного металла. Данные внести в табл. 3.3 с экспериментальными данными.

3. Зачистить пластины основного металла на расстоянии 50 мм в обе стороны от стыка, провести разметку по рис. 2.4.

4. После изучения общих теоретических сведений провести настройку сварочного оборудования на заданный преподавателем режим сварки в следующей последовательности:

– включить источник питания и изучить активные индикаторы панели управления;

– изучить конструкцию сварочной горелки, пропустить электродную проволоку через шланг горелки, установить требуемый вылет электродной проволоки;

– открыть вентиль баллона с углекислым газом и вращением винта редуктора-расходомера установить требуемое давление на выходе;

– установить требуемую скорость подачи электродной проволоки;

– установить требуемые параметры режима сварки (напряжение и ток);

– установить горелку под углом $75-80^\circ$ к свариваемым заготовкам на расстоянии 10–25 мм от них;

– нажать кнопку на горелке.

5. Потренироваться осуществлять наплавку с одинаковой скоростью сварки: если за 3 с проходить 1 см шва, тогда скорость сварки $V_{св} = 0,33 \text{ см/с} = 3,3 \text{ мм/с} = 11,9 \text{ м/ч}$. Время измерять секундомером, длину валиков наплавки (10 см) по разметке необходимо пройти за одинаковое время.

6. Наплавить перпендикулярно стыку валики при различном значении параметров режима сварки: 1-я наплавка – минимальные значения, 2-я наплавка – средние значения, 3-я наплавка – максимальные значения (сварку осуществить в режиме  стандартной технологии сварки MIG/MAG с выбором параметров режима вручную).

Обеспечить наплавку требуемой длины валика, секундомером замерить время горения дуги t . Определить скорость сварки $V_{св}$, м/с, по формуле (1.1). Данные внести в табл. 3.3.

7. Разрушить образцы по линии стыка. На месте излома получаем поперечные сечения валиков наплавки. Измерить штангенциркулем (линейкой) глубину проплавления и ширину шва, занести данные в табл. 3.3.

8. Сделать выводы о влиянии параметров режима на стабильность процесса сварки и качество формирования сварного шва.

Исходные данные и результаты эксперимента

№ опыта	Марка и диаметр электродной проволоки	Марка и толщина основного металла	Положение шва при сварке	Значения параметров режима сварки						Результаты (глубина проплавления, характер горения дуги, разбрызгивание, наличие непроваров)
				Полярность	Сила сварочного тока, А	Напряжение дуги, В	Скорость подачи проволоки, м/ч	Скорость сварки, м/ч	Расход защитного газа, л/мин	

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Используемое оборудование и материалы.
3. Устройство и порядок настройки сварочного полуавтомата.
4. Таблица результатов экспериментов.
5. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Основные особенности процесса сварки в углекислом газе.
2. Для чего сварочная проволока легируется кремнием и марганцем?
3. Как выбирается сила сварочного тока?
4. Почему сварка в углекислом газе проводится на обратной полярности (более предпочтительна)?

Лабораторная работа № 4

ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕХАНИЗИРОВАННОЙ СВАРКИ В СМЕСИ ($\text{Ar} + \text{CO}_2$) И ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ (4 ЧАСА)

Цель работы: изучить параметры режима и оборудование для сварки в смеси $\text{Ar} + \text{CO}_2$ и порошковой проволокой. Оценить влияние технологических характеристик данных процессов сварки на геометрические параметры сварных соединений.

Общие теоретические сведения

В данной лабораторной работе будут проведены опыты для следующих процессов сварки по СТБ ISO 4063:

- 135 дуговая сварка в активном газе сплошной проволокой (MAG), сюда кроме 100 % активного газа относят сварку в смеси активных и инертных газов при содержании активного газа в смеси $\geq 0,5$ % (ISO/TR 25901-1:2016);
- 114 дуговая сварка порошковой самозащитной проволокой (подача защитного газа при сварке не нужна), рис. 4.1, *а*;
- 136 дуговая сварка в активном газе плавящейся порошковой проволокой, рис. 4.1, *б*.

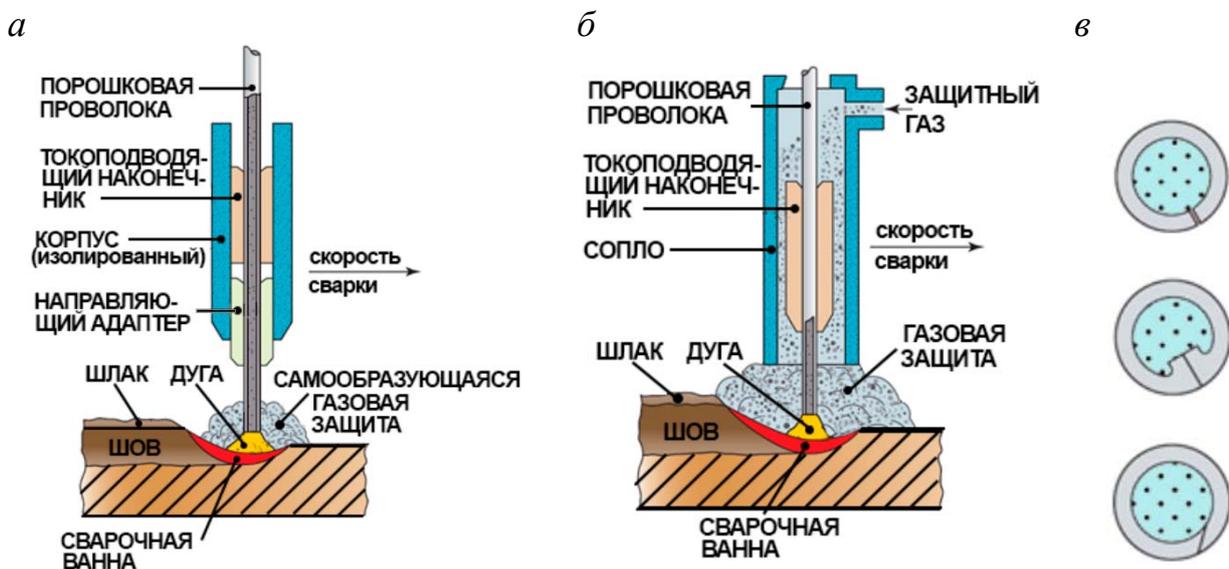


Рис. 4.1. Схемы процессов сварки порошковой проволокой:
а – без газовой защиты; *б* – с газовой защитой; *в* – сечения порошковой проволоки

При сварке низкоуглеродистых и низколегированных сталей в смеси $\text{Ar} + \text{CO}_2$ струйный перенос электродного металла достигается при относительно малых токах (особенно при использовании импульсных процессов сварки). Это объясняется тем, что наличие в смеси углекислого газа (18–25 %) повышает

давление в дуге и не позволяет капле расти до больших размеров, как происходит при сварке в чистом Ar и CO₂ на докритических токах.

Переход к мелкокапельному и струйному переносу при сварке в смеси Ar + CO₂ улучшает формирование шва, уменьшается его выпуклость, валик имеет плавный переход к основному металлу, чешуйчатость шва минимальная, существенно уменьшается разбрызгивание электродного металла.

Состав защитного газа оказывает влияние на форму проплавления сварных швов (рис. 4.2).

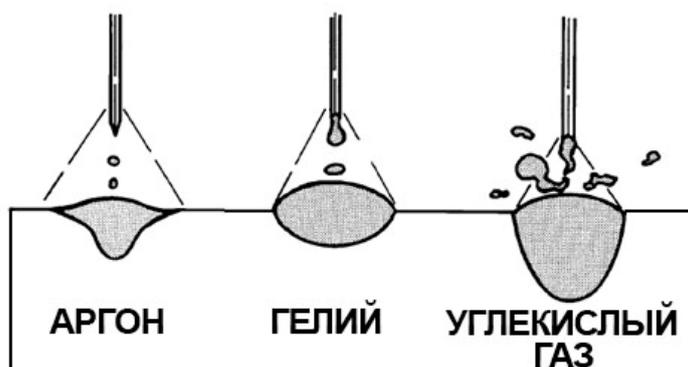


Рис. 4.2. Характерное поперечное сечение швов при сварке в среде защитных газов

Порошковая проволока представляет собой трубчатую проволоку, заполненную порошкообразным наполнителем, который является смесью минералов, руд, химикатов, ферросплавов. Он выполняет функции, аналогичные функциям электродных покрытий: стабилизацию дугового разряда, защиту металла от воздуха, раскисление и легирование шва, регулирование процесса переноса электродного металла, формирование шва и др.

Порошковые сварочные проволоки делятся на две группы: самозащитные, не требующие газовой защиты, и газозащитные, требующие защиты CO₂ или смеси Ar + CO₂. Использование самозащитных проволок позволяет упростить процесс сварки, т. к. отпадает необходимость в использовании баллонов с CO₂. Это расширяет возможности использования механизированной сварки в монтажных условиях.

Использование порошковых проволок при сварке в CO₂ позволяет существенно улучшить технологические параметры процесса сварки и механические свойства шва по сравнению с проволоками сплошного сечения. Улучшается формирование и внешний вид шва, снижается разбрызгивание металла, улучшаются механические характеристики сварного соединения.

По типу наполнителя **газозащитные** порошковые проволоки бывают:

– рутиловые с медленно кристаллизующимся шлаком (индекс R) и рутиловые с быстро кристаллизующимся шлаком (индекс P). В составе рутил TiO₂, алюмосиликаты (полевой шпат, слюда, гранит), руды, раскислители (ферромарганец FeMn, ферросилиций FeSi, ферротитан FeTi);

– основные (индекс В). В составе плавиковый шпат CaF_2 (флюорит), раскислители. Кальций хорошо выводит из шва серу и фосфор, а фтор хорошо удаляет водород, поэтому пластичность металла шва увеличивается;

– металлопорошковые (индекс М). В составе железо Fe, раскислители FeMn и ферросилиций FeSi. Обладают высокой производительностью наплавки.

По типу наполнителя **самозащитные** порошковые проволоки бывают:

– рутиловые или основные/фторидные с органическими веществами (индекс V). В составе рутил TiO_2 , алюмосиликаты (полевой шпат, слюда, гранит), раскислители и газообразующие органические вещества (крахмал и целлюлоза, которые при разложении выделяют CO и CO_2);

– основные/фторидные с медленно кристаллизующимся шлаком (индекс W) и с быстро кристаллизующимся шлаком (индекс Y). В составе рутил TiO_2 , плавиковый шпат CaF_2 , алюмосиликаты, раскислители, газообразующие вещества (карбонаты кальция, магния, натрия). Если вместо целлюлозы ввести мрамор CaCO_3 , то газовая защита останется за счет разложения карбоната кальция с выделением CO_2 , но пластичность шва улучшится, т. к. исчезнет водород, который присутствует в целлюлозе;

– прочие (индекс Z).

Все основные свойства сварочной проволоки сплошного сечения приводятся в ее обозначении, например, ISO 14341-A: G 46 3 M21 3Si1 («ISO 14341-A» – обозначение стандарта на проволоку, «G» – электродная проволока для сварки защитных газах, «46» – предел текучести металла шва (460 МПа), «3» – минимальная температура, при которой гарантируется работа удара не менее 47 Дж («минус» 30 °C), «M21» – защитный газ (смесь Ar + CO_2), «3Si1» – индекс, определяющий химический состав проволоки).

Порошковые сварочные проволоки имеют следующую структуру обозначения, например, ISO 17632-A: T 42 6 1Ni Y N 2 H10 («ISO 17632-A» – обозначение стандарта на проволоку, «T» – порошковая проволока, по первой букве английского слова «TUBULAR», «42» – предел текучести металла шва (420 МПа), «6» – минимальная температура, при которой гарантируется работа удара не менее 47 Дж («минус» 60 °C), «1Ni» – индекс, определяющий химический состав проволоки, «Y» – тип порошковой проволоки (основная/фторидная с быстро кристаллизующимся шлаком), «N» – обозначение состава защитного газа (без газовой защиты); «2» – индекс, определяющий пространственные положения сварки (все кроме вертикального сверху вниз); «H10» – индекс, определяющий содержание диффузионно-подвижного водорода в 100 г наплавленного металла (≤ 10 мл на 100 г).

Механизированная сварка порошковой проволокой выполняется короткой дугой, так как при увеличении длины дуги усиливается разбрызгивание жидкого металла, ухудшается его защита от кислорода и азота воздуха, усиливается выгорание элементов, содержащихся в проволоке, что приводит к образованию пор в наплавленном металле. Кроме того, при увеличении вылета электрода сердечник проволоки перегревается, что приводит к преждевременному выгоранию газообразующих составляющих.

Как правило, сварка самозащитной порошковой проволокой осуществляется на прямой полярности DC (-), сварка газозащитной проволокой – на обратной полярности DC (+).

Для проведения опытов по сварке образцов в лабораторной работе будет использоваться источник питания Kemppi FastMig KMS 500 (рис. 4.3) и механизм подачи проволоки Kemppi FastMig MXF 65.

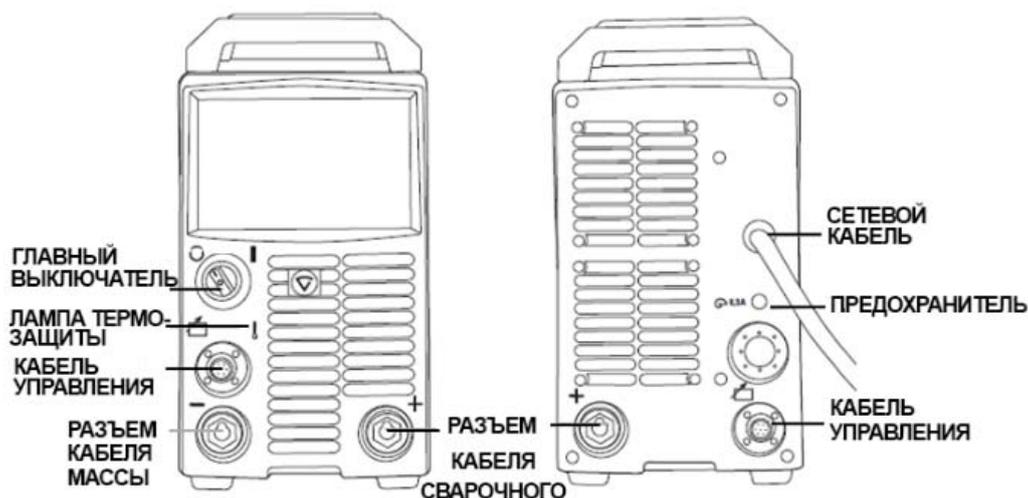


Рис. 4.3. Внешний вид источника питания Kemppi FastMig KMS 500

Основные технические характеристики сварочного оборудования приведены в табл. 4.1. Основные функции панели управления SF 53W источника питания FastMig KMS 500 представлены на рис. 4.4.

Таблица 4.1

Основные технические характеристики лабораторного оборудования

№ п/п	Характеристика	Значение
Источник питания Kemppi FastMig KMS 500		
1	Напряжение электросети (U_1)	$3 \times 400 \text{ В} \pm 15 \%$
2	Частота сети	50/60 Гц
3	Диапазон сварочного тока (I_2) при MIG/MAG	10–500 А
4	Диапазон напряжений на дуге (U_2) при MIG/MAG	10–42 В
5	Напряжение холостого хода	50 В
6	КПД при максимальном токе	87 %
Механизм подачи проволоки Kemppi FastMig MXF 65		
1	Скорость подачи проволоки	0–25 м/мин
2	Проволокоподающий механизм	4 ролика
3	Диаметр подающих роликов	32 мм
4	Диаметры проволоки сплошного сечения	0,6–1,6 мм
	Диаметры порошковой проволоки	0,8–2,0 мм
	Диаметры алюминиевой проволоки	1,0–2,4 мм

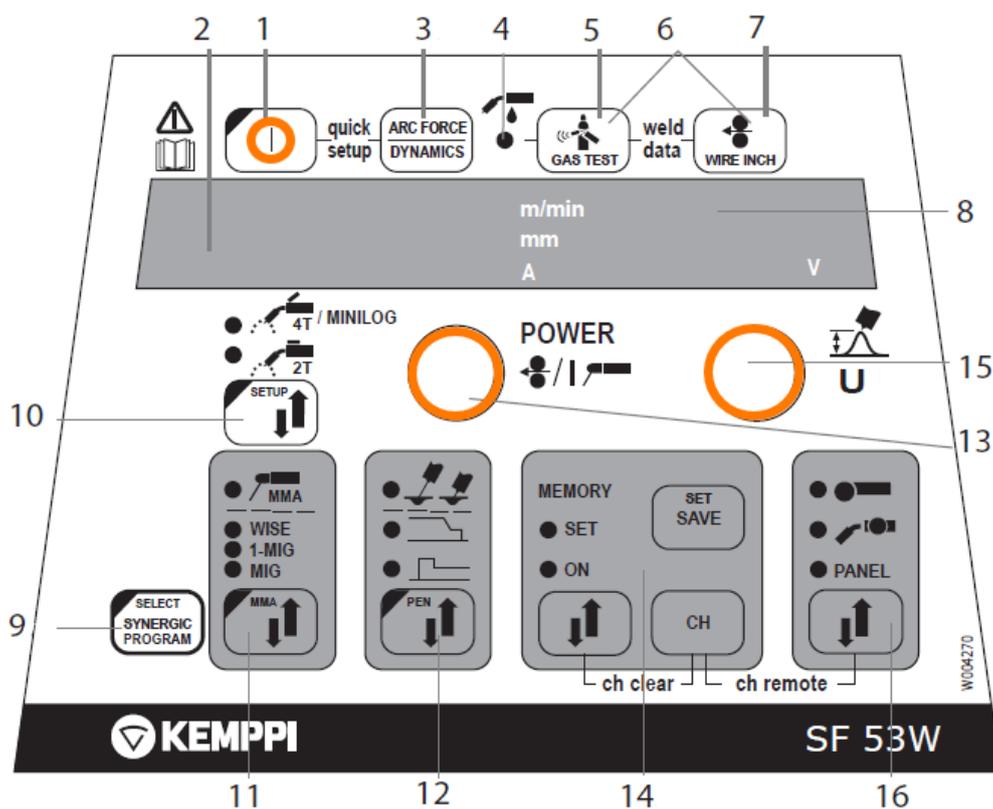


Рис. 4.4. Панель управления SF 53W источника питания FastMig KMS 500:

- 1 – кнопка вкл/выкл; 2 – отображение параметров (скорость подачи проволоки/сварочный ток/толщина листа) или выбранного параметра настройки (SETUP); 3 – выбор параметров (динамика MIG/MMA Arc Force/формирующий импульс Wise); 4 – индикация горелки MIG с газовым/водяным охлаждением (выбор из настройки); 5 – проверка подачи газа; 6 – отображение последних использованных параметров режима сварки; 7 – протяжка проволоки; 8 – отображение напряжения на дуге или дисплей выбора регулируемых параметров; 9 – проверка синергетической программы сварки 1-MIG/WISE или выбор синергетической программы сварки 1-MIG/WISE (длительное нажатие); 10 – выбор логики переключения: 2T/4T/4T Minilog или установка основных параметров (SETUP) при длительном нажатии; 11 – выбор сварочного процесса MIG, 1-MIG, MMA, WISE; 12 – выбор дополнительных функций (короткое нажатие: выбор заварки кратера / выбор горячего старта); 13 – регулировка скорости подачи проволоки, или регулировка значения мощности сварки 1-MIG/WiseRoot/WiseThin, или регулировка тока MMA, или выбор параметра настройки (SETUP), или выбор сварочной программы 1-MIG/WiseRoot/WiseThin (группы материалов); 14 – каналы памяти, сохранение параметров MIG; 15 – регулировка напряжения на дуге, или регулировка длины сварочной дуги (1-MIG), или регулировка динамики MIG, или регулировка параметра настройки (SETUP), или выбор сварочной программы 1-MIG/WiseRoot/WiseThin (номера программы), или регулировка базового тока для WiseRoot и WiseThin; 16 – выбор ручного управления/пульта дистанционного управления

Для сварки в смеси $Ar + CO_2$ часто используются баллоны с готовой смесью с процентным содержанием 82 % Ar и 18 % CO_2 . Но если требуется изменить процентное содержание газов в смеси или использовать многокомпонентные смеси (например, три газа), то тогда отбор газов ведется из отдельных баллонов, а для их смешивания применяются газовые смесители, отличающиеся по функциональным возможностям и стоимости.

Оборудование, приборы и материалы

Сварочный пост для механизированной сварки в защитных газах с источником питания Kemppi FastMig KMS 5001 и подающим механизмом Kemppi FastMig MXF 65.

Баллон со смесью $Ar + CO_2$, сварочная проволока Св-08Г2С, порошковая проволока.

Образцы: пластины из низкоуглеродистой стали.

Секундомер.

Набор слесарного инструмента, маркер по металлу.

Набор измерительного инструмента: штангенциркуль, линейка, УШС-3.

Защитные щитки, спецодежда.

Порядок проведения работы

1. В обязательном порядке ознакомиться с содержанием раздела «Техника безопасности при проведении лабораторных работ».

2. Замерить штангенциркулем диаметр проволоки, толщину основного металла. Данные внести в таблицу с экспериментальными данными (табл. 4.2).

3. Зачистить пластины основного металла на расстоянии 50 мм в обе стороны от стыка, провести разметку по рис. 2.4.

4. После изучения общих теоретических сведений провести настройку сварочного оборудования на заданный преподавателем режим сварки в следующей последовательности:

- включить источник питания и изучить панель управления;
- пропустить электродную проволоку через шланг горелки, установить требуемый вылет электродной проволоки;
- открыть вентиль баллона со смесью, установить нужное давление на выходе;
- установить требуемую скорость подачи электродной проволоки;
- установить требуемые параметры режима сварки (напряжение и ток);
- установить горелку под углом $75-80^\circ$ к свариваемым заготовкам на расстоянии 10–25 мм от них, нажать кнопку на горелке.

5. Потренироваться осуществлять наплавку с одинаковой скоростью сварки: если за 3 с проходить 1 см шва, тогда скорость сварки $V_{св} = 0,33 \text{ см/с} = 3,3 \text{ мм/с} = 11,9 \text{ м/ч}$. Время измерять секундомером, длину валиков наплавки (10 см) по разметке необходимо пройти за одинаковое время.

При сварке требуется поддерживать положение горелки постоянным, т. к. от этого изменяется формирование шва (рис. 4.5).

6. Наплавить перпендикулярно стыку валики при различном значении параметров режима сварки в смеси $Ar + CO_2$: 1-я наплавка – минимальные значения, 2-я наплавка – средние значения, 3-я наплавка – максимальные значения.

Исходные данные и результаты эксперимента

№ опыта	Марка и диаметр электродной проволоки	Марка и толщина основного металла	Положение шва при сварке	Значения параметров режима сварки					Результаты (глубина проплавления, характер горения дуги, разбрызгивание, наличие непроваров)
				Полярность	Сила сварочного тока, А	Напряжение дуги, В	Скорость подачи проволоки, м/ч	Скорость сварки, м/ч	
Сварка в смеси Ar + CO ₂									
Сварка порошковой проволокой в защитном газе									
Сварка порошковой проволокой без газовой защиты									

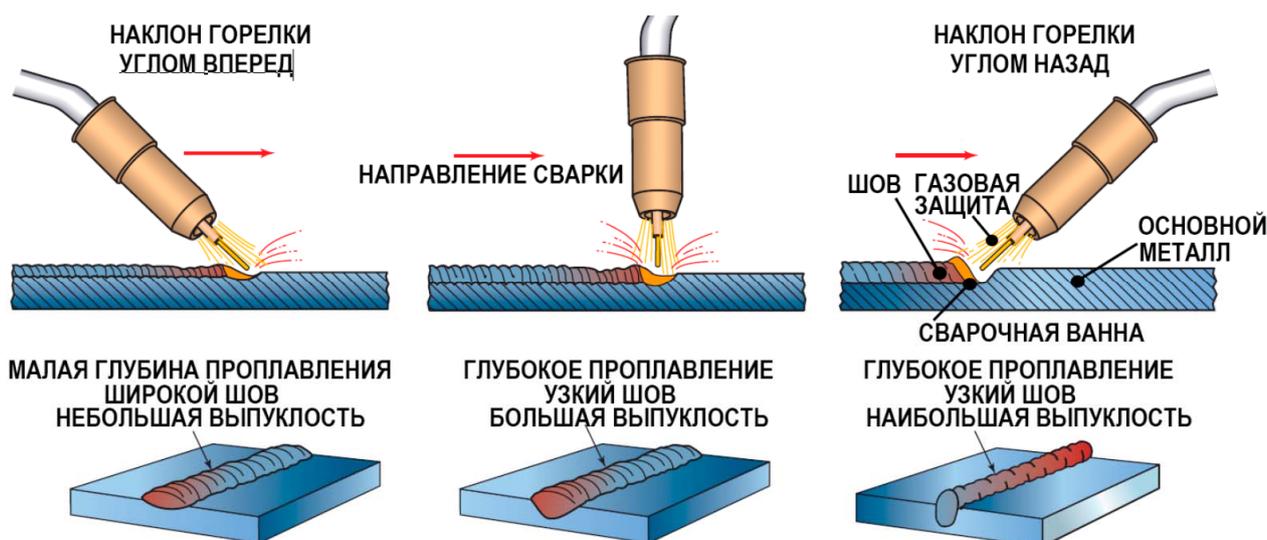


Рис. 4.5. Влияние положения сварочной горелки на формирование шва

Обеспечить наплавку требуемой длины валика, секундомером замерить время горения дуги t . Определить скорость сварки $V_{св}$, м/с, по формуле (1.1). Данные внести в табл. 4.2. **Наплавку каждого последующего валика производить только после ее охлаждения в воде (для устранения предварительного подогрева).**

7. Провести наплавку валиков порошковой проволокой в защитном газе и порошковой проволокой без газовой защиты.

8. Разрушить образцы по линии стыка. На месте излома получаем поперечные сечения валиков наплавки. Измерить штангенциркулем (линейкой) глубину проплавления и ширину шва, занести данные в табл. 4.2.

9. Сделать выводы о влиянии параметров режима на стабильность процесса сварки и качество формирования сварного шва. Охарактеризовать формирование шва при сварке порошковой проволокой.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Упрощенная схема и краткое описание процессов сварки порошковой проволокой.
3. Используемое оборудование и материалы, порядок его настройки.
4. Таблица результатов экспериментов.
5. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Преимущества и область применения сварки в смеси $Ar + CO_2$.
2. Процессы сварки порошковой проволокой, их разновидности и применение.
3. Маркировка порошковой сварочной проволоки.
4. Типы наполнителей порошковых проволок.
5. Основные параметры режима сварки и их влияние на формирование шва.

Лабораторная работа № 5

ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИКИ ДУГОВОЙ СВАРКИ НЕПЛАВЯЩИМСЯ ВОЛЬФРАМОВЫМ ЭЛЕКТРОДОМ ЧЕРНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ (4 ЧАСА)

Цель работы: изучить параметры режима и оборудование для сварки неплавящимся вольфрамовым электродом с присадочным металлом. Оценить влияние технологических характеристик данного способа сварки на геометрические параметры сварных соединений.

Общие теоретические сведения

Дуговая сварка в инертном газе неплавящимся вольфрамовым электродом может выполняться с присадочным металлом (141 процесс сварки по СТБ ISO 4063) или без присадки (142 процесс сварки по СТБ ISO 4063).

Процесс сварки вольфрамовым электродом в инертном газе в настоящее время широко встречается под аббревиатурой TIG (Tungsten Inert Gas). Поскольку чаще всего в качестве материала для неплавящихся электродов применяется вольфрам, в немецкоязычной литературе используют сокращение WIG (Wolfram Inert Gas), в американских источниках используется обозначение GTAW (Gas Tungsten Arc Welding).

TIG представляет собой процесс дуговой сварки (рис. 5.1), при котором дуга горит между неплавящимся вольфрамовым электродом и изделием. Зона сварки защищена от атмосферы инертным защитным газом (аргоном или гелием).

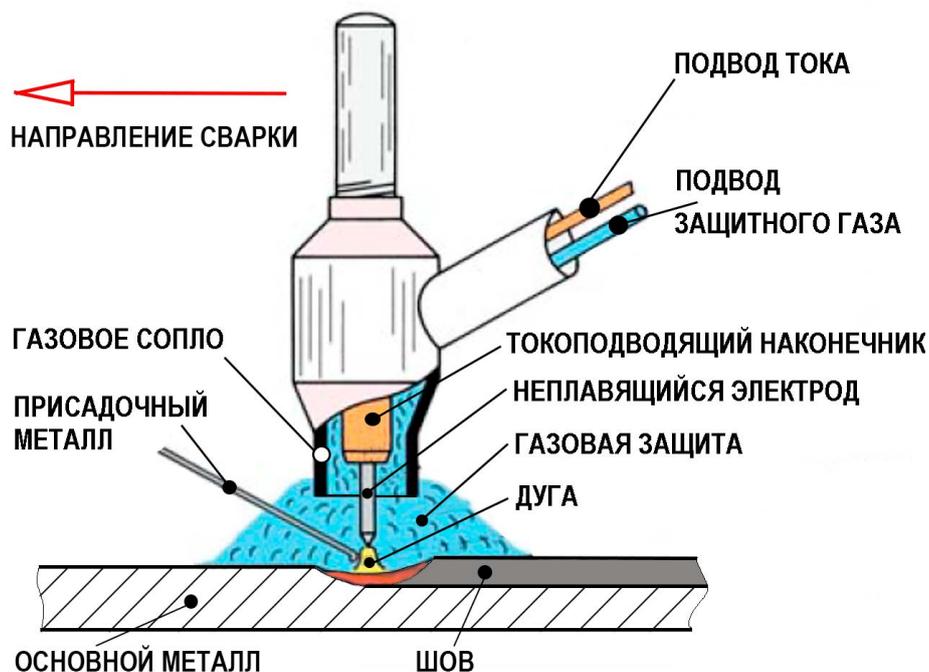


Рис. 5.1. Схема сварки неплавящимся вольфрамовым электродом в защитном газе

Этот способ сварки чаще всего используется для сварки тонких деталей из нержавеющей стали и цветных металлов, таких, как алюминий, магний и медные сплавы, для сварки корневого прохода труб. Процесс легко поддается автоматизации и позволяет проводить сварку в различных пространственных положениях самых разнообразных металлов и их сплавов толщиной от десятых долей до десятков миллиметров.

TIG характеризуется следующими преимуществами: позволяет получить сварные швы высокого качества применительно к практически всем металлам и сплавам; благодаря отсутствию переноса металла через дугу нет разбрызгивания металла; сварку можно выполнять во всех пространственных положениях; практически не требуется обработка поверхности шва после сварки, т. к. нет шлака и нет шлаковых включений в металл шва.

К недостаткам дуговой сварки в инертном газе неплавящимся электродом можно отнести низкую производительность, высокую стоимость источника питания (по сравнению с РДС), а также необходимость применения дополнительных защитных мер против светового и теплового излучения. Из-за отсутствия дыма и более высокой температуры дуги излучение более сильное, имеющее сдвиг в ультрафиолетовую область, что, в свою очередь, вызывает образование озона и оксидов азота. При выполнении TIG сварки необходима улучшенная защита сварщика от излучения дуги. Сварочная маска комплектуется светофильтром повышенной плотности. При сварке в стесненных условиях необходимо обеспечить достаточную вентиляцию или подачу чистого воздуха в сварочную маску.

Основным назначением горелки для TIG является жесткое фиксирование вольфрамового электрода (W-электрода) в требуемом положении, подвода к нему электрического тока и равномерного распределения потока защитного газа вокруг сварочной ванны. Сварочная горелка состоит из корпуса и головки, покрытой изолирующим материалом. В рукоятку горелки встроена кнопка управления для включения и выключения сварочного тока и подачи защитного газа. Современные горелки оснащаются кнопкой регулировки тока в процессе сварки. Цанга жестко закрепляет неплавящийся электрод в горелке посредством закручивания колпака электрода, как это показано на рис. 5.2. Для работы в стесненных условиях горелки могут снабжаться короткими колпаками.

Горелки для сварки неплавящимся электродом разработаны для разных конструкций и размеров в зависимости от максимального требуемого тока, а также от условий ее применения. Конструкция некоторых горелок предполагает их охлаждение потоком защитного газа (это так называемые горелки воздушного охлаждения). При сварке на повышенных токах горелки имеют принудительное водяное охлаждение.

Газовое сопло направляет защитный газ в зону сварки для того, чтобы он замещал окружающий воздух. Газовое сопло крепится к горелке на резьбе для облегчения его замены. Они обычно изготавливаются из температуростойкого керамического материала.

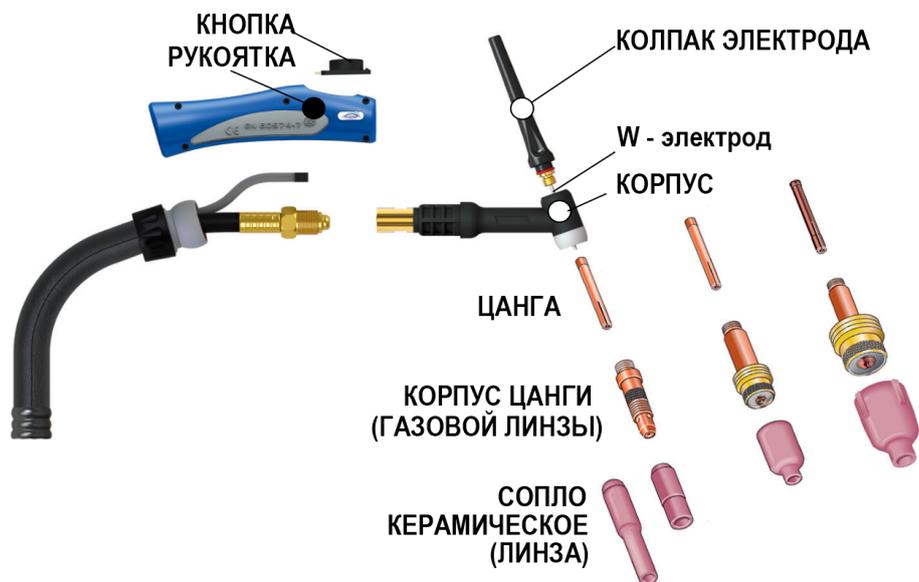


Рис. 5.2. Горелка TIG

В соплах со встроенными газовыми линзами поток газа проходит через металлическую решетку, что придает ему большую ламинарность, обеспечивающую более надежную защиту, т. к. такой поток более устойчив к воздействиям поперечных воздушных потоков и действует на большее расстояние (рис. 5.3). Преимущество сопла, обеспечивающего ламинарный поток газа, заключается в том, что можно устанавливать больший вылет электрода, что дает сварщику лучший обзор сварочной ванны. Газовые линзы также снижают расход газа.

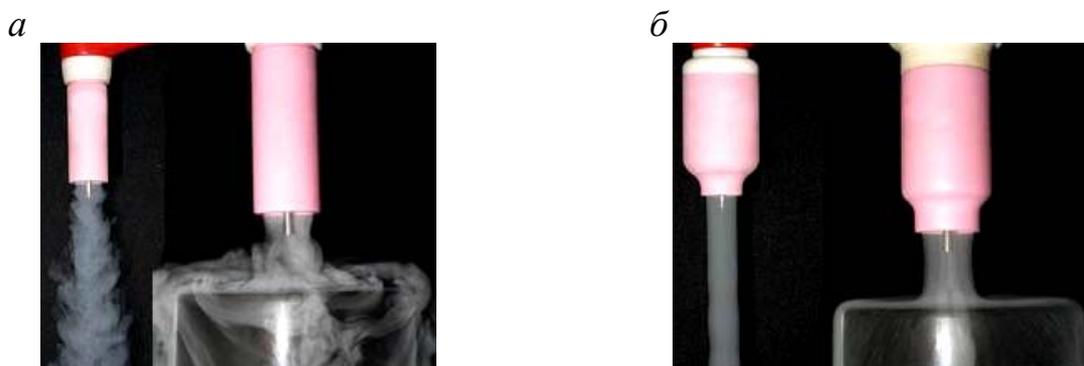


Рис. 5.3. Поток защитного газа из сопла горелки:
а – обычное сопло; *б* – сопло с газовой линзой

Неплавящиеся вольфрамовые электроды для дуговой сварки в защитных газах изготавливаются нескольких типов (ГОСТ 23949-80).

ЭВЧ – чистый вольфрам без специальных добавок. Зарубежная маркировка WP, цвет маркировки – зеленый, в состав входит не менее 99,5 % чистого вольфрама. Предназначены для сварки алюминия, магния и их сплавов на переменном токе. Обладают низкой устойчивостью к сварочному току (его тепловому воздействию) и долговечностью. Заточка электрода из-за этого производится в виде шарика (скругление).

ЭВЛ – вольфрам с добавкой окиси лантана (1,1–1,4 %). Зарубежная маркировка WL-20 (цвет маркировки – синий) и WL-15 (цвет маркировки – золотой). Относятся к группе универсальных, так как подходят для сварки на постоянном (прямой полярности) и переменном токе, а также для различных металлов: любых типов сталей, меди, бронзы, алюминия и его сплавов. Среди отличительных особенностей данного типа электродов выделяются полная безопасность для человеческого здоровья, высокая износостойкость, повышенная длительность сохранения заточки электрода (уступает лишь WL-15), легкий поджиг дуги, стабильная работа на малых токах (опережает WL-15).

ЭВИ – вольфрам с добавкой окиси иттрия (1,5–3,5 %). Зарубежная маркировка WY-20 (цвет маркировки – темно-синий). Созданы для сварки на постоянном токе. Но в отличие от ториевых электродов, иттриевые безопасны для здоровья человека. Считаются самыми устойчивыми к высоким сварочным токам среди вольфрамовых электродов. Не загрязняют включениями сварной шов. Исходя из совокупности положительных сторон, данные электроды применяются при сварке особо ответственных конструкций.

ЭВТ – вольфрам с добавкой двуокиси тория (1,5–2 %). Зарубежная маркировка WT-20 (цвет маркировки – красный). Имеют высокую эффективность, стабильность и относительную универсальность. Данные электроды подходят для сварки всех типов стали, а также тантала, молибдена и многих других материалов на постоянном токе. Технически способны работать и на переменном токе, но не предназначены для этого. Обладают легким поджигом дуги, относительной долговечностью. Но существенный минус WT-20 в данный момент снижает их потребление – торий является радиоактивным химическим элементом. Пыль от электрода при его заточке, вдыхаемая в легкие человека, может оказать существенное воздействие на его здоровье. Также опасны и плохо проветриваемые помещения, предназначенные для работы с WT-20, и длительный характер самих работ.

Вольфрамовые электроды WC-20, цвет маркировки – серый, в состав помимо чистого вольфрама входит 2 % оксида церия. Относятся к группе универсальных, так как подходят для сварки на постоянном DC (–) и переменном токе, а также для различных металлов: нержавеющей стали, молибдена, тантала, меди, никеля, титана и их сплавов. Среди отличительных особенностей данного типа электродов выделяются полная безопасность для человеческого здоровья, устойчивость к повышенным значениям сварочного тока, сбалансированное расходование электрода в процессе сварки. Следует помнить, что чем ближе значение сварочного тока к максимуму при работе с электродом WC-20, тем больше оксида церия концентрируется на стыке со сварочной дугой, и это может влиять на качество сварного шва. Считается, что электроды марки WC-20 отлично подходят для сварки корневых швов трубопроводов, орбитальной сварки, а также сварки изделий из тонколистовой стали.

Вольфрамовые электроды WZ-8, цвет маркировки – белый, в состав входит не менее 0,8 % оксида циркония. Предназначены для сварки алюминия, магния и их сплавов на переменном токе. В отличие от чисто вольфрамовых элект-

родов, обладают достаточно хорошими характеристиками поджига и стабильного горения электрической дуги, а также устойчивости к высоким токам и долговечности.

В процессе сварки происходит затупление электрода и, как следствие, уменьшение глубины проплавления. Заточивать конец электрода для сварки переменным током рекомендуется в виде сферы, а для сварки постоянным током – в виде конуса. Угол конуса должен быть $28\text{--}30^\circ$, длина конической части должна составлять 2 диаметра электрода. Конус после заточки должен быть притуплен, диаметр притупления должен быть от 0,2 до 0,5 мм. При заточке W-электрода на его поверхности остаются царапины, при правильной заточке они должны быть расположены вдоль оси электрода (рис. 5.4).

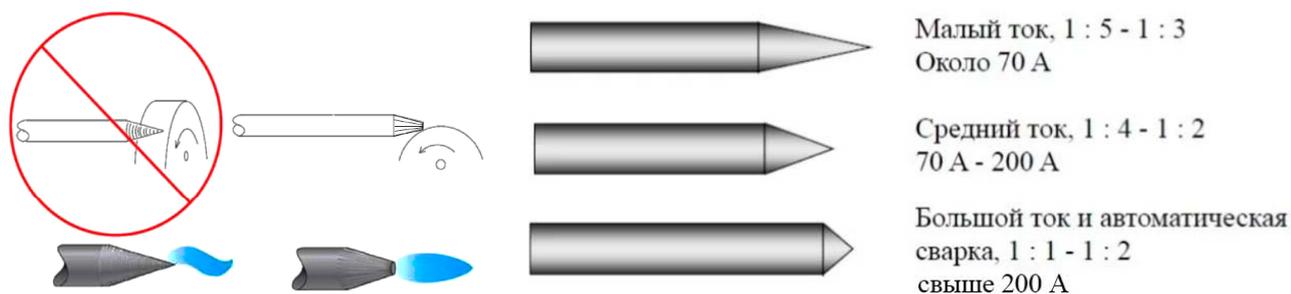


Рис. 5.4. Рекомендации по выбору и подготовке W-электрода

Современное сварочное оборудование для сварки неплавящимся электродом обеспечивает автоматическое формирование сферической формы торца электрода (функция automatic cap-shaping, рис. 5.5), используемой при сварке на переменном токе алюминия.

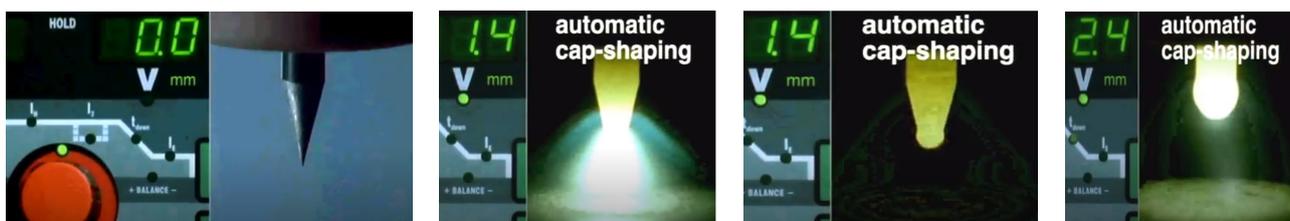


Рис. 5.5. Автоматическое формирование сферической формы торца W-электрода

Полярность тока существенным образом сказывается на характере протекания процесса дуговой сварки в инертном газе вольфрамовым электродом (рис. 5.6). Так, при использовании обратной полярности DC (+) процесс сварки TIG характеризуется следующими особенностями:

- сниженный ввод тепла в изделие и повышенный в электрод (поэтому при сварке на обратной полярности неплавящийся электрод должен быть большего диаметра при одном и том же токе; в противном случае он будет перегреваться и быстро разрушится);
- зона расплавления основного металла широкая, но неглубокая;

– наблюдается эффект катодной очистки поверхности основного металла, когда под действием потока положительных ионов происходит разрушение окисной и нитридной пленок (так называемое катодное распыление), что улучшает сплавление кромок и формирование шва.

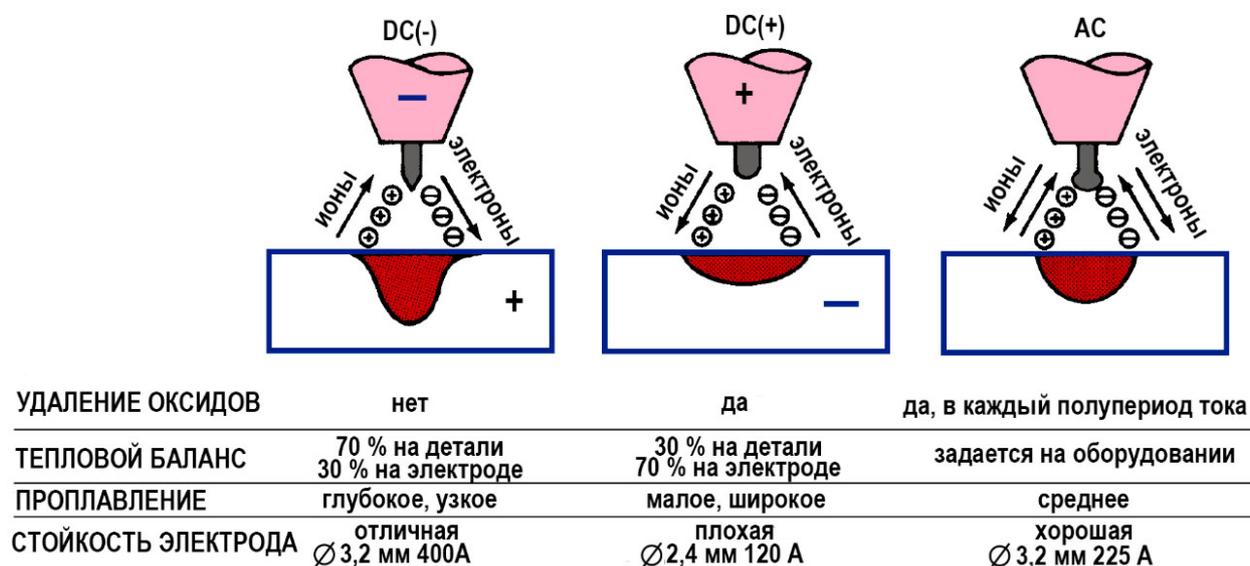


Рис. 5.6. Влияние полярности тока на технологические характеристики процесса TIG

В то время как при сварке на прямой полярности DC (–) наблюдается:

- повышенный ввод тепла в изделие и сниженный в электрод;
- зона расплавления основного металла узкая, но глубокая.

В связи с тем, что при сварке на прямой полярности наблюдается повышенный ввод тепла в изделие и сниженный в электрод, при TIG сварке на постоянном токе используют прямую полярность DC (–).

Зажигание дуги при TIG может быть осуществлено бесконтактным и контактным способами. TIG-HF – способ с системой бесконтактного возбуждения дуги высоковольтным и высокочастотным разрядом (HF – high frequency). При этом используется осциллятор, который вырабатывает кратковременный импульс напряжения, обеспечивающий пробой и последовательное развитие искрового разряда вплоть до дугового. Благодаря высокой частоте и малой мощности осциллятора высокое напряжение неопасно для человека. Высокочастотный поджиг обеспечивает самое высокое качество сварного шва, так как при нем не происходит контакта вольфрамового электрода с изделием, и поэтому исключается попадание частичек вольфрама в сварочную ванну. При таком поджиге также не происходит разрушения торца вольфрамового электрода. Однако, применение осцилляторов может приводить к выходу из строя устройств, чувствительных к электромагнитному воздействию.

TIG-Contact или SCRATCH START – способ TIG с контактным возбуждением дуги касанием вольфрамового электрода изделия («чирканьем» торца вольфрамового электрода по поверхности изделия, наподобие того, как это делается при сварке покрытыми электродами). При этом способе зажигания дуги

возможно попадание частичек вольфрама в сварочную ванну, а также имеет место разрушение торца вольфрамового электрода, так как в момент контакта электрода с изделием протекает ток короткого замыкания.

TIG-LIFT ARC (TIG-LIFT IGNITION, LIFTIG) – способ TIG с контактным возбуждением дуги, когда в момент короткого замыкания протекает заблаговременно сниженный ток. Этот способ зажигания дуги, хотя и не исключает контакта электрода с изделием, не имеет недостатков предыдущего способа, так как в момент короткого замыкания протекает заблаговременно сниженный ток.

Присадочный металл по мере необходимости подается в головную часть сварочной ванны. Сварщик вручную контролирует перемещение сварочной горелки и подачу проволоки. При сварке боковой угол горелки должен всегда поддерживаться равным 90° . Угол наклона горелки к поверхности изделия в направлении, обратном сварке, должен составлять $70\text{--}80^\circ$. Присадка подается по мере перемещения горелки под углом от 15 до 30° к основному металлу (рис. 5.7). Длина дуги должна находиться в интервале $1,5\text{--}2,5$ мм. Кончик присадочного прутка подводят к краю сварочной ванны, касаясь ее, а затем отводят назад и вверх.

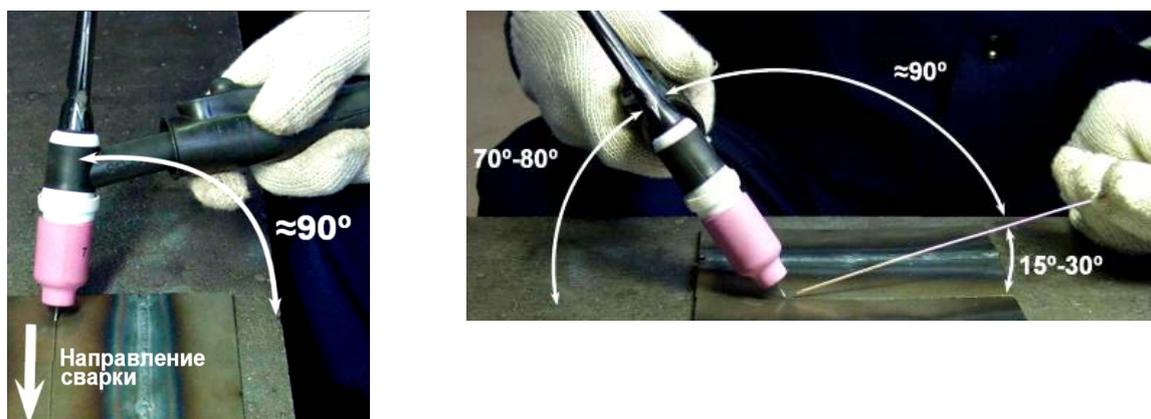


Рис. 5.7. Техника выполнения швов

Сварка TIG выполняется «углом вперед» (т. е. горелка наклонена в сторону формирующегося сварного шва) с регулярной подачей присадки мелкими шагами. При сварке очень важно, чтобы конец присадочной проволоки не выводился из зоны газовой защиты; в противном случае, будучи расплавленным или нагретым, он окислится от контакта с окружающим воздухом. Любая степень окисления или загрязнения присадочной проволоки неизбежно вызовет загрязнение сварочной ванны. Поэтому очень важно, чтобы сварщик использовал присадочные прутки, чистые от грязи, смазки или влаги. Обычно грязь и смазка попадают на присадочный металл с грязных рукавиц. Поэтому непосредственно перед сваркой очень желательно обрабатывать прутки, например, ацетоном. Смазка и влага, как на присадочном прутке, так и на основном металле могут вызвать серьезные дефекты сварного шва, такие, как пористость, водородное растрескивание.

Блоки (панели) управления установками для сварки TIG могут быть как очень простыми, так и очень сложными с различными функциями. Самый про-

стой блок управления позволяет регулировать только ток сварки. В то время как расход защитного газа настраивается регулятором, вмонтированным в горелку TIG. Современные блоки управления позволяют включать защитный газ до зажигания дуги и продолжать его подачу некоторое время после выключения тока сварки. Последнее обеспечивает защиту вольфрамового электрода и остывающей сварочной ванны от воздействия окружающего воздуха.

Блоки управления установками для сварки TIG могут также обеспечивать контроль нарастания и снижения тока сварки, импульсный режим сварки (пульсацию тока). Регулирование времени плавного нарастания тока до номинального уровня при зажигании дуги предохраняет вольфрамовый электрод от разрушения и попадания частичек вольфрама в сварной шов. Регулирование времени плавного снижения тока при окончании сварки предотвращает образование кратера и пористости.

При импульсном режиме сварки устанавливаются два уровня тока: ток импульса и ток базы. Значение тока базы выбирается из условия поддержания горения дуги. Плавление основного металла осуществляется током импульса, а во время паузы сварочная ванна остывает (вплоть до полной кристаллизации в зависимости от параметров импульсного режима). Длительности импульса и паузы могут регулироваться.

При сварке TIG большинства металлов используется постоянный ток прямой полярности DC (-). Однако эти условия сварки неприемлемы, когда речь идет об алюминии и магнии. Обусловлено это наличием на поверхности этих металлов прочной и тугоплавкой окисной пленки. Алюминий характеризуется высокой химической активностью. Он легко вступает во взаимодействие с кислородом воздуха, т. е. окисляется. При этом образуется тонкая плотная пленка из оксида алюминия (Al_2O_3). Своей высокой коррозионной стойкостью алюминий обязан именно этой пленке. Температура плавления чистого алюминия – 660 °С, а температура плавления Al_2O_3 более чем в три раза выше – 2030 °С. При расплавлении алюминия он растекается крупными каплями, удерживаемыми от слияния окисной пленкой. В случае если фрагменты пленки окажутся в закристаллизовавшемся металле шва, его механические свойства ухудшатся. Таким образом, для того чтобы сварить вместе две алюминиевые детали, прежде всего необходимо эту окисную пленку разрушить. Это можно выполнить:

– механически (однако это практически невозможно, так как из-за высокой химической активности алюминия он тут же вступает в связь с кислородом, и начинает образовываться новый слой окиси алюминия. Причем в условиях дуговой сварки при высокой температуре окисление алюминия и образование окисной пленки происходит еще более интенсивно);

– химической обработкой (довольно сложно и трудоемко);

– сваркой на обратной полярности DC (+). Наиболее вероятный механизм действия электрического тока при удалении окисной пленки состоит в том, что движущиеся с большой скоростью положительные ионы бомбардируют поверхность сварочной ванны, разрушают пленку и путем так называемого катодного распыления удаляют ее;

– сваркой на переменном токе АС (рис. 5.8). Комбинация прямой и обратной полярности позволяет использовать преимущества обеих полярностей: мы получаем и необходимое проплавление основного металла в полупериоды прямой полярности, и очистку поверхности от окиси алюминия (в полупериоды обратной полярности).

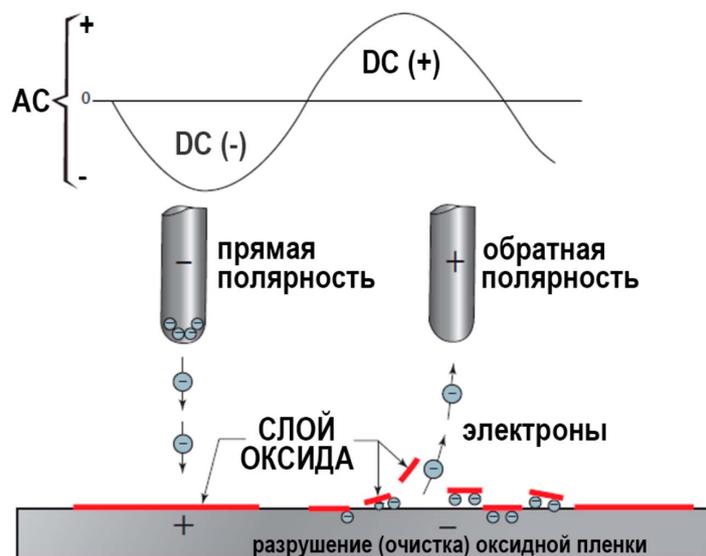


Рис. 5.8. Разрушение оксидной пленки

Сварочное оборудование позволяет регулировать соотношение положительных и отрицательных полуволн переменного тока (баланс). На положительных полуволнах происходит очистка от оксидов, на отрицательных – проплавление основного металла (рис. 5.9). Обычно устанавливают 30–40 % времени положительной полуволны и 60–70 % времени отрицательной. Кроме временных параметров отдельное оборудование позволяет менять и амплитудное значение тока на полуволнах.

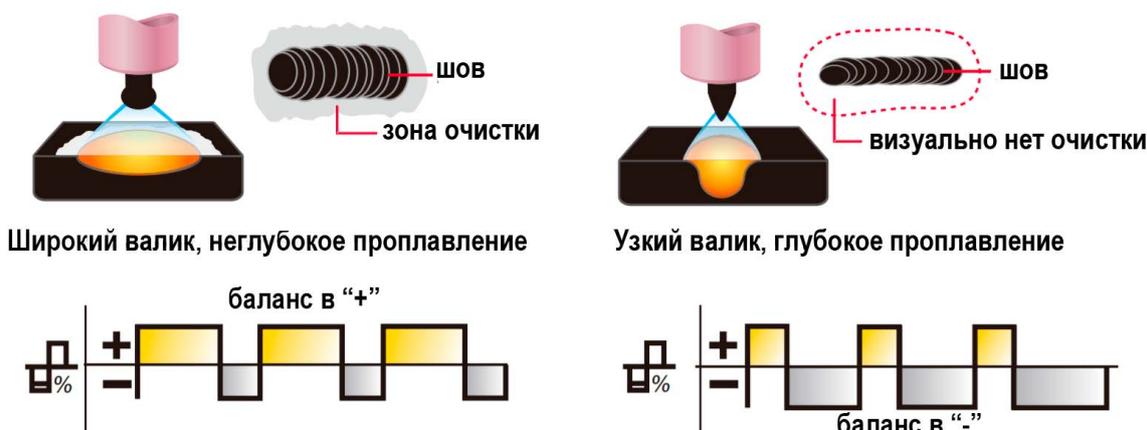


Рис. 5.9. Регулировка баланса полуволн переменного тока

Регулировка частоты переменного тока позволяет контролировать дугу, чем больше частота, тем более узкая дуга (рис. 5.10).

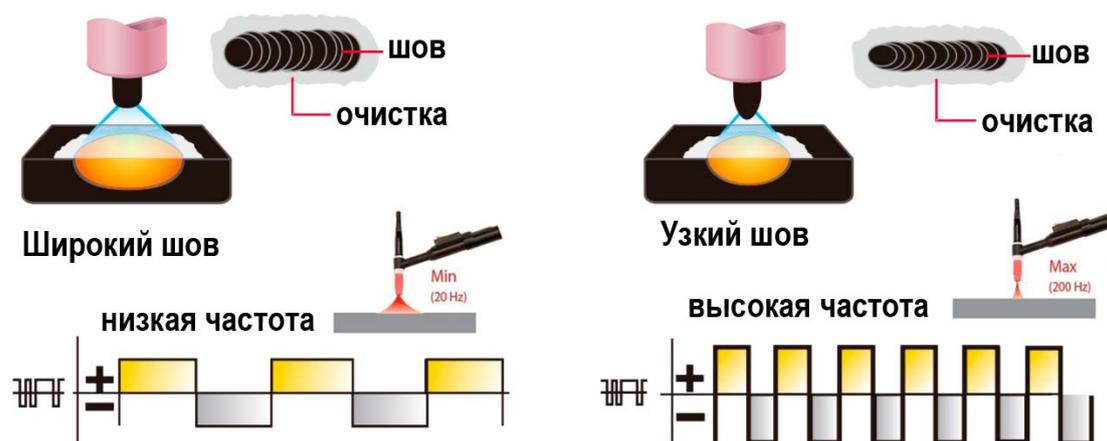


Рис. 5.10. Регулировка частоты переменного тока

Оборудование, приборы и материалы

Пост для сварки в защитных газах неплавящимся электродом (Fronius MagicWave 2200).

Присадочный пруток.

Образцы: отрезки алюминиевой трубы или пластин.

Набор слесарного инструмента, штангенциркуль.

Баллон с аргоном.

Защитные щитки, спецодежда.

Порядок проведения работы

1. В обязательном порядке ознакомиться с содержанием раздела «Техника безопасности при проведении лабораторных работ».

2. Замерить штангенциркулем диаметр присадочной проволоки, W-электрода, толщину основного металла. Данные внести в табл. 5.1.

3. Зачистить основной металл под сварку, заточить вольфрамовый электрод.

4. После изучения общих теоретических сведений провести настройку сварочного оборудования (источник питания Fronius MagicWave 2200, см. лабораторную работу № 2) на заданный преподавателем режим сварки в следующей последовательности:

– включить источник питания и панель управления;

– открыть вентиль баллона с аргоном, установить нужное давление на выходе;

– установить требуемые параметры режима сварки (род тока, полярность, диаметр вольфрамового электрода, напряжение и ток).

5. Сварить образцы на различных значениях параметров режима и проанализировать полученные результаты.

6. Измерить штангенциркулем (линейкой) ширину шва, занести данные в табл. 5.1.

Исходные данные и результаты эксперимента

№ опыта	Диаметр присадки, мм	Марка и толщина основного металла	Положение шва при сварке	Значения параметров режима сварки Fronius MagicWave 2200				Результаты (ширина шва, характер горения дуги, наличие зоны очистки)
				Диаметр и марка W-электрода, мм	Род тока, полярность	Сила сварочного тока, А	Напряжение дуги, В	
					DC (+)			
					DC (-)			
					АС, баланс -5			
					АС, баланс +5			
					АС, баланс 0			

7. Сделать выводы о влиянии параметров режима на стабильность процесса сварки и качество формирования сварного шва.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Упрощенная схема и краткое описание процесса дуговой сварки неплавящимся вольфрамовым электродом.
3. Используемое оборудование и материалы.
4. Таблица экспериментальных данных.
5. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Каковы основные особенности процесса сварки неплавящимся электродом? Какие защитные газы используются для сварки?
 2. Назовите основные преимущества и недостатки TIG.
 3. Опишите устройство горелки TIG.
 4. Почему сварку алюминия производят на переменном токе?
 5. Как осуществляется удаление окисной пленки с поверхности алюминия?
- Что такое баланс переменного тока?
6. Как подготавливают к сварке вольфрамовый электрод?

Лабораторная работа № 6

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКИ ПОД ФЛЮСОМ НА РАЗМЕРЫ И ФОРМУ СВАРНОГО ШВА (2 ЧАСА)

Цель работы: получить экспериментальные зависимости геометрических характеристик сварного шва от силы сварочного тока и напряжения на дуге. Получить навыки настройки сварочного трактора на заданный режим и управления им.

Общие теоретические сведения

Дуговая сварка под флюсом может выполняться сплошной электродной проволокой (121 процесс сварки по СТБ ISO 4063), ленточным электродом (122 процесс сварки по СТБ ISO 4063), порошковой проволокой, порошковой лентой, с присадкой металлического порошка.

Процесс сварки под флюсом встречается под аббревиатурой SAW (Submerged Arc Welding), что обозначает «сварка погруженной дугой». При сварке под флюсом дуга горит под зернистым сыпучим материалом, называемым сварочным флюсом (рис. 6.1).

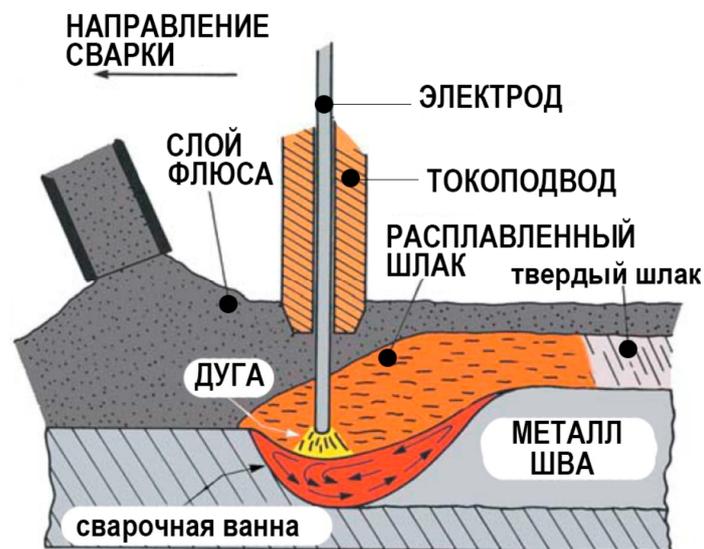


Рис. 6.1. Схема процесса сварки под флюсом

Под действием тепла сварочной дуги расплавляются электрод (проволока, лента и т. д.), основной металл, а также часть флюса. При плавлении флюс защищает сварочную ванну от взаимодействия с окружающей средой (обеспечивается преимущественно шлаковая защита) и осуществляет металлургическую обработку ванны. Дуга горит между электродом и основным металлом в газовом пузыре, образованном парами и газами, выделяющимися в столбе дуги. По мере удаления сварочной дуги расплавленный флюс затвердевает, образуя

на поверхности шлаковую корку. После прекращения процесса сварки и охлаждения металла шлаковая корка легко отделяется от шва. Неизрасходованная часть флюса собирается и используется в дальнейшем при сварке.

Параметры режима сварки оказывают непосредственное воздействие на форму и размеры сварного шва. С увеличением *диаметра электрода* $d_э$ (при постоянных других параметрах) усиливается блуждание активных пятен на торце электрода и основном металле. Передача тепловой мощности дуги через увеличенную блужданием поверхность приводит к росту ширины шва и уменьшению глубины проплавления. Уменьшение диаметра электрода приводит к обратному явлению – сосредоточению активного пятна и уменьшению блуждания дуги по поверхности сварочной ванны. Глубина проплавления растет, а ширина шва уменьшается (рис. 6.2, а).

С *увеличением силы сварочного тока* $I_{св}$ (при $d_э = \text{const}$) глубина проплавления возрастает (рис. 6.2, б), что объясняется ростом давления дуги на поверхность сварочной ванны, которым оттесняется расплавленный металл из под дуги (улучшаются условия теплопередачи от дуги к основному металлу), и увеличением погонной энергии. Следует отметить, что ширина шва возрастает незначительно, т. к. дуга погружается в основной металл.

При увеличении силы сварочного тока растет количество расплавленного металла, поэтому увеличивается и высота выпуклости шва g . Коэффициент формы шва (отношение ширины шва к его толщине) при повышении силы сварочного тока уменьшается. В результате заметно ухудшаются условия дегазации металла в сварочной ванне, повышается склонность металла шва к появлению горячих трещин. Образуется резкий переход от основного металла к наплавленному, что снижает работоспособность сварного соединения, особенно при ударных и знакопеременных нагрузках; ухудшается поверхность шва, шлаковая корка плохо отделяется. Чтобы избежать этого, при увеличении значения сварочного тока следует увеличивать и напряжение на дуге.

При увеличении напряжения на дуге $U_д$ увеличивается ее подвижность и возрастает количество расплавляемого флюса. При этом растет ширина шва, а глубина его проплавления остается практически неизменной. Этот параметр режима широко используют в практике для регулирования ширины сварного шва (рис. 6.2, в).

Увеличение скорости сварки $V_{св}$ снижает погонную энергию, из-за чего основные размеры шва (ширина, глубина проплавления) уменьшаются. При чрезмерно больших скоростях сварки и силе сварочного тока в швах могут образовываться подрезы. Если скорость сварки существенно снизить, то погонная энергия возрастает, а это приводит к росту ширины шва и глубины проплавления (рис. 6.2, г).

Род и полярность тока. При сварке постоянным током (DC) тепловая мощность, выделяемая в катодном пятне, больше, чем в анодном. Это приводит к уменьшению ширины шва и глубины проплавления при сварке постоянным током прямой полярности DC (–) по сравнению со сваркой на обратной поляр-

ности DC (+). При сварке переменным током (AC) зона проплавления при тех же параметрах занимает среднее значение.

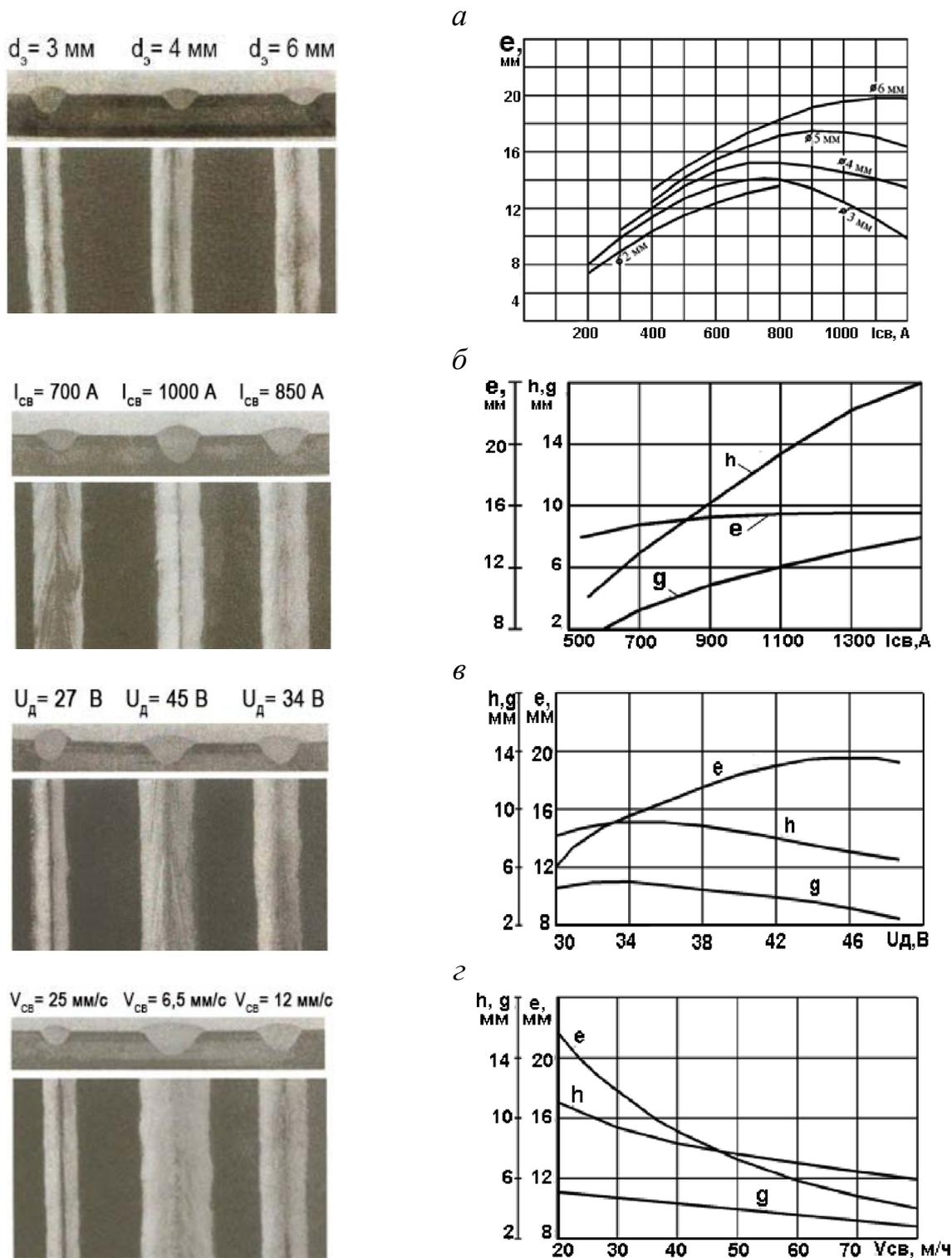


Рис. 6.2. Форма и размеры шва при автоматической сварке под флюсом:
 а – диаметр электрода d_3 изменяется, $I_{CB} = 600 \text{ А}$, $U_{д} = 30 \text{ В}$, $V_{CB} = 13 \text{ мм/с}$;
 б – $d_3 = 6 \text{ мм}$, сила сварочного тока I_{CB} изменяется, $U_{д} = 34 \text{ В}$, $V_{CB} = 13 \text{ мм/с}$;
 в – $d_3 = 6 \text{ мм}$, $I_{CB} = 850 \text{ А}$, напряжение дуги $U_{д}$ изменяется, $V_{CB} = 13 \text{ мм/с}$;
 г – $d_3 = 6 \text{ мм}$, $I_{CB} = 850 \text{ А}$, $U_{д} = 34 \text{ В}$, скорость сварки V_{CB} изменяется;
 е – ширина шва; h – глубина проплавления; g – высота выпуклости шва

При *увеличении вылета электродной проволоки* возрастает интенсивность ее разогрева, а значит, и скорость ее плавления. В результате величина прослойки расплавленного металла под дугой возрастает, а глубина проплавления уменьшается. Рекомендуемые величины вылета представлены в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Зависимость вылета электродной проволоки от ее диаметра

Диаметр проволоки, мм	Вылет проволоки, мм	Диапазон сварочного тока, А
2,0	15–25	200–600
3,0	30–35	230–700
4,0	30–40	420–1000
5,0	35–40	480–1100

Свойства флюсов. Изменение геометрии сварного шва и его внешнего вида зависит и от стабилизирующих свойств, вязкости и насыпной массы флюса. С повышением стабилизирующих свойств флюса увеличиваются длина дуги и ее подвижность. Поэтому глубина проплавления уменьшается, а ширина шва растет. Флюсы с меньшей насыпной массой обеспечивают получение сварных швов с меньшей глубиной проплавления и с большей шириной шва, т. к. уменьшение массы обуславливает меньшее давление на газовую полость, увеличение ее размеров и большую подвижность дуги. Менее вязкие флюсы, а также флюсы с низкой скоростью затвердевания (длинные шлаки), обеспечивают лучшее удаление избытков газов из ванны и более гладкую поверхность.

Наибольшее применение находят флюсы марок АН-348А, АН-348В, ОСЦ-45, АНЦ-1 и др. Такие флюсы рекомендуются для сварки низко- и среднеуглеродистых сталей в сочетании с проволоками марок Св-08А, Св-08ГА.

При значительном нарушении параметров режима сварки относительно оптимальных значений сварные соединения могут иметь довольно специфическую форму, отличительная особенность которой заключается в слишком большой ширине шва при сварке под флюсом, которая резко уменьшается с ростом глубины проплавления. Данная форма шва носит название «hat-shaped bead» («шляпообразный» шов). Данное нарушение формы шва часто приводит к образованию трещин в сварном соединении (рис. 6.3) в процессе эксплуатации готового изделия.



Рис. 6.3. Нарушение геометрии многопроходного сварного шва при сварке под флюсом

Сварка под слоем флюса, как правило, выполняется на автоматах, которые по своей конструкции делятся на две группы: сварочные тракторы и подвесные головки. Сварочный трактор – это автомат, который в процессе работы перемещается по свариваемому изделию или направляющим, уложенным в одной плоскости с изделием.

В лабораторной работе для проведения опытов будет использоваться сварочный трактор АДФ-1002, являющийся аппаратом с постоянной скоростью подачи проволоки. В таких аппаратах при изменении длины дугового промежутка стабилизация параметров режима происходит за счет временного изменения скорости плавления электрода (явление саморегулирования дуги). При уменьшении дугового промежутка сварочный ток возрастает, что приводит к увеличению скорости плавления проволоки. Увеличение длины дуги вызывает уменьшение сварочного тока и, соответственно, уменьшение скорости плавления электрода и восстановление дугового промежутка.

В состав сварочного автомата АДФ-1002 входят сварочный трактор (рис. 6.4), источник питания сварочной дуги, комплект сменных узлов и деталей.

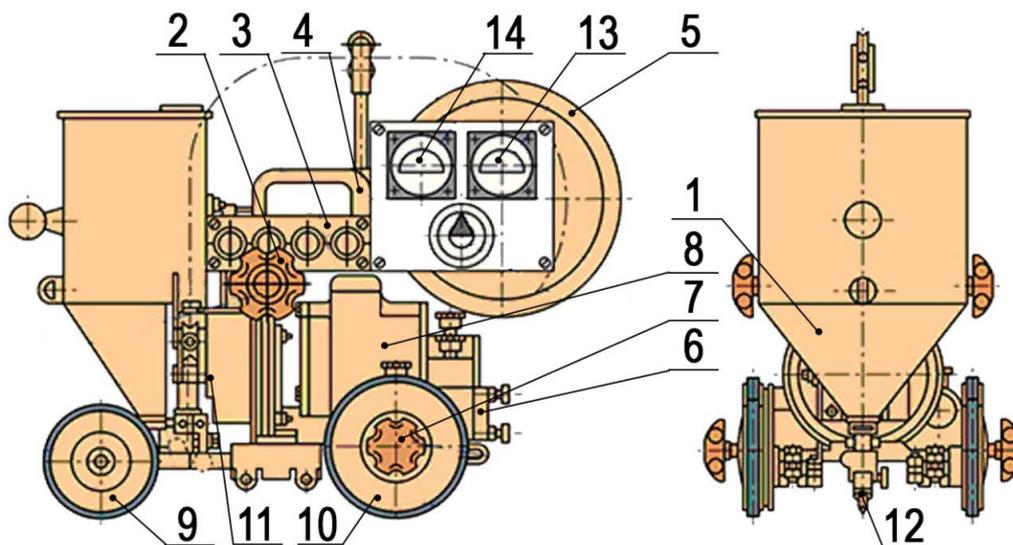


Рис. 6.4. Сварочный трактор АДФ-1002:

- 1 – бункер для флюса; 2 – механизм корректировки; 3 – панель управления (пульт);
- 4 – кронштейн ручной переноски трактора; 5 – кассета для сварочной проволоки; 6 – редуктор со сменными шестернями; 7 – фрикционная сцепная муфта; 8 – электродвигатель;
- 9 – неприводные передние колеса; 10 – приводные колеса; 11 – сварочная головка;
- 12 – токоподводящий мундштук; 13 – вольтметр; 14 – амперметр

Трактор снабжен одним электродвигателем для привода в движение рабочих механизмов: механизма подачи электродной проволоки (сварочной головки) и механизма перемещения сварочной установки (ходового механизма).

Схема управления автомата обеспечивает подъем и опускание электродной проволоки при вспомогательных операциях (касание сварочной проволоки деталей перед сваркой, подъем проволоки из шлака и др.); передвижение трактора при отключенной сварочной цепи; дистанционное включение сварочного тока

и возбуждение дуги в начале сварки; подачу проволоки и передвижение трактора в процессе сварки; заварку кратера и отключение сварочного тока в конце сварки.

Управление работой трактора осуществляется с помощью кнопочного пульта. Перед началом сварки включается фрикционная муфта ходового механизма. Кнопками «Вверх» и «Вниз» электрод опускается на свариваемое изделие или поднимается. Включение сварочной цепи и двигателя трактора производится кнопкой «Пуск». При нажатии кнопки «Пуск» включается цепь питания электродвигателя и двигатель начинает вращаться в направлении, соответствующем подъему электродной проволоки.

Между изделием и электродной проволокой возбуждается сварочная дуга, начинается подача проволоки в зону сварки и движение автомата по свариваемому шву. Для окончания сварки необходимо нажать кнопку «Стоп». Автомат останавливается. Сварочная дуга в течение 1–2 с в зависимости от настройки реле времени продолжает гореть. По истечении этого времени автоматически отключается сварочный ток.

Значение сварочного тока настраивают подбором соответствующего значения скорости подачи электродной проволоки. Напряжение на дуге настраивают изменением крутизны внешней характеристики источника питания. Необходимую скорость подачи электродной проволоки устанавливают или сменными зубчатыми шестернями (ступенчатое регулирование), или изменением числа оборотов двигателя постоянного тока (плавное регулирование). Для расширения пределов регулирования скорости подачи используют и плавноступенчатое регулирование (двигатель постоянного тока и редуктор со сменными шестернями).

Кассеты для проволоки служат для закрепления запаса электродной проволоки на корпусе автомата. Наибольшее распространение при сварке проволокой 3–5 мм получили кассеты закрытого типа.

Механизм подачи электродной проволоки состоит из привода и системы подающих роликов. Привод обеспечивает вращение подающего ролика с заданной скоростью и с необходимым крутящим моментом, а также настройку заданной скорости подачи электродной проволоки. Конструкция системы подающих роликов должна обеспечивать стабильную подачу из кассеты в зону сварки проволоки из различных материалов и разных диаметров без ее значительной деформации.

Правильные механизмы предназначены для увеличения точности направления электрода. Необходимость в правке вызвана тем, что поставляемая в бухтах проволока имеет собственную кривизну, а иногда и местные прогибы, причем кривизна в пределах одного мотка переменна. Для правки электрод пропускают через систему свободно вращающихся роликов, расположенных в шахматном порядке, чтобы обратным изгибом проволоки компенсировать ее кривизну.

Токоподводящие мундштуки осуществляют направление электрода в зону сварки и подвода к нему тока.

Механизмы перемещения служат для перемещения сварочной дуги с заданной скоростью, для возвращения сварочного аппарата в исходное положение вручную или с маршевой скоростью. В качестве механизма перемещения

чаще всего используют четырехколесную тележку, перемещающуюся по специальному направляющему или по изделию. Скорость перемещения настраивают сменными шестернями, сменными ходовыми колесами или изменением числа оборотов двигателя постоянного тока.

Флюсоаппараты служат для подачи флюса в зону сварки и сбора неиспользованного флюса после сварки.

Механизмы корректировки служат для установки до сварки и корректировки во время сварки положения сварочной дуги относительно свариваемых кромок. В зависимости от конструкции эти корректировки можно выполнять вручную или автоматически.

В комплект сварочных аппаратов входит шкаф управления. Здесь установлены источники питания двигателей, используемых в аппарате, элементы управления работой и настройкой сварочного аппарата: силовой контактор, промежуточные реле, предохранительные устройства и др. Для управления аппаратом и контроля режима сварки устанавливается пульт управления.

Оборудование, приборы и материалы

Сварочный трактор АДФ-1002 с источником питания.

Флюс АН-348А.

Электродная проволока Св-08А диаметром 3 мм.

Образцы: пластины из низкоуглеродистой стали.

Набор слесарного инструмента.

Набор измерительного инструмента.

Порядок проведения работы

1. В обязательном порядке ознакомиться с содержанием раздела «Техника безопасности при проведении лабораторных работ».

2. Замерить штангенциркулем толщину основного металла. Данные внести в табл. 6.2.

3. Зачистить пластины основного металла на расстоянии 50 мм в обе стороны от стыка, провести разметку по рис. 2.4.

4. Изучить элементы управления источником питания и сварочным трактором АДФ-1002, настроить оборудование на заданный преподавателем режим сварки. Установить требуемые пары шестерен для обеспечения необходимых значений скорости сварки $V_{св}$ и скорости подачи проволоки $V_{п.пр}$.

Порядок включения и выключения сварочного трактора:

- проверка наличия заземления;
- включение общего рубильника системы электроснабжения;
- укладка свариваемых пластин на стол, установка трактора в начальное положение и прокатка его на холостом ходу;
- проверка подачи сварочной проволоки (опустить ее до касания с основным металлом);

- засыпка флюса;
- включение сцепления на каретке трактора;
- включение сварочного источника питания;
- нажатие кнопки «Пуск» на пульте управления трактора;
- сварка нужной длины шва;
- нажатие кнопки «Стоп»;
- выключение источника питания.

5. Наплавить перпендикулярно стыку валики при различном значении силы сварочного тока и напряжения: 1-я наплавка – минимальные значения, 2-я наплавка – средние значения, 3-я наплавка – максимальные значения.

Наплавку каждого последующего валика производить только после ее охлаждения в воде (для устранения предварительного подогрева).

6. Разрушить образцы по линии стыка. На месте излома получаем поперечные сечения валиков наплавки. Измерить штангенциркулем и линейкой геометрические характеристики наплавленных валиков (h , e , g) и занести данные в табл. 6.2.

7. Описать характер формирования наружной поверхности шва, отделимость шлаковой корки, наличие дефектов сварки в зависимости от изменяемого параметра режима сварки.

8. Сделать выводы о влиянии параметров режима сварки на геометрические характеристики шва.

Таблица 6.2

Исходные данные и результаты эксперимента

№ опыта	Толщина основного металла, мм	Параметры режима сварки					Экспериментальные данные			
		Диаметр проволоки, мм	Сила сварочного тока $I_{св}$, А	Напряжение на дуге U_d , В	Род и полярность тока	Скорость сварки $V_{св}$, мм/с	Глубина проплавления h , мм	Ширина валика шва e , мм	Высота выпуклости шва g , мм	Коэффициент формы шва

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Схема процесса сварки. Применяемое оборудование и материалы.
3. Таблица с исходными и экспериментальными данными.

4. Краткая характеристика результатов экспериментов.
5. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Какие величины составляет режим автоматической сварки под флюсом?
2. Как влияет сила сварочного тока на геометрические характеристики шва? Чем это обусловлено?
3. Как влияет напряжение дуги на геометрические характеристики шва?
4. Как влияют на размеры скорость перемещения дуги и диаметр сварочной проволоки?

Лабораторная работа № 7

ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКИ (4 ЧАСА)

Цель работы: изучить влияние основных параметров режима плазменной резки на качество реза.

Общие теоретические сведения

Плазма – это четвертое агрегатное состояние вещества (остальные: газ, жидкость и твердое тело). В отличие от газа, плазма ионизирована так, что может проводить электрический ток. Плазма содержит ионы и электроны практически в одинаковых количествах, в результате чего суммарный заряд данной системы очень мал (плазма квазинейтральна). В этом заключается ее отличие от других систем, содержащих заряженные частицы.

Назначение газа при плазменных термических процессах (83 номер по СТБ ISO 4063) отличается от его назначения при кислородной резке или процессах TIG и MIG/MAG. Вместо того чтобы создавать пламя для резки заготовок или защищать металл от взаимодействия с атмосферой, газ перегревается так, что он становится проводником и фактически может поддерживать электрическую дугу. Плазмообразующий газ, проходящий через электрическую дугу, нагревается до температуры около 14 000 °С. В результате нагревания газ выталкивается через небольшое отверстие в сопле и выходит в виде звуковой струи с высокой скоростью (рис. 7.1). Горячая струя газа расплавляет любой известный металл. Газ с высокой скоростью продувает расплавленный металл через рез и обеспечивает высокое качество резки без включений оксидов и окалина при сохранении высокой производительности процесса.

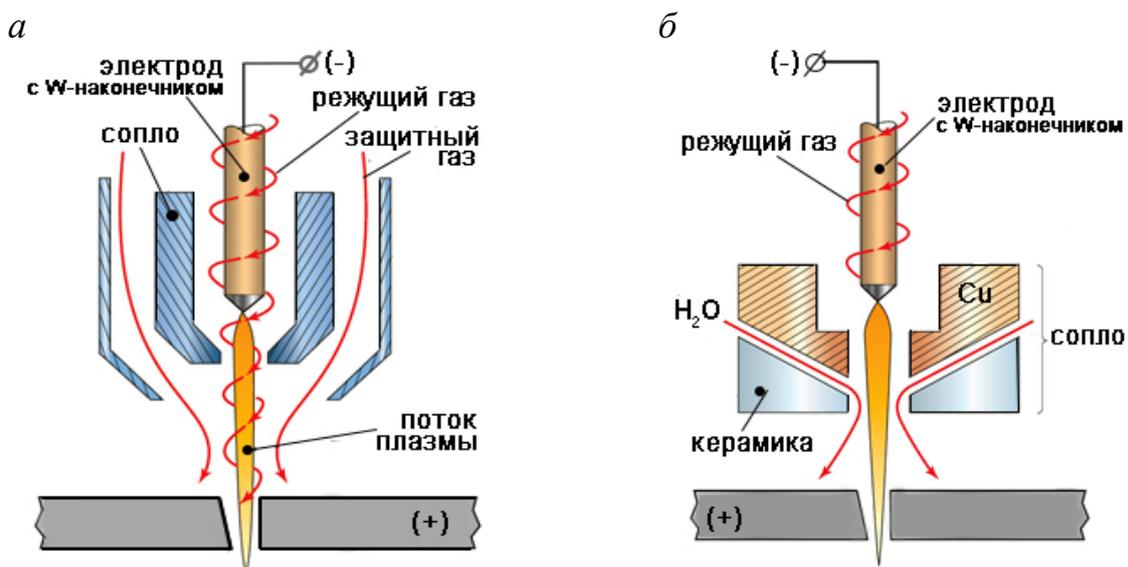


Рис. 7.1. Схемы процесса плазменной резки:
а – с применением защитного газа; б – с применением воды

Используемый при резке газ оказывает существенное влияние на процесс резки, качество реза, стойкость деталей плазмотрона и др. параметры. В процессе резки используются пять газов: воздух, кислород, азот, водород, аргон, а также их смеси, состав которых зависит от разрезаемого материала.

Наиболее широко применяемым газом при плазменной резке является воздух (воздушно-плазменная резка). При использовании воздуха хорошо режутся низкоуглеродистые стали, можно резать легированные стали, медь, алюминий. Воздух является самым дешевым газом, который при этом обеспечивает достаточно высокое качество реза. Недостатком воздуха является азотирование разрезаемых кромок, что приводит при их сварке к образованию пор от азота. Претензии к воздуху появляются и при увеличении толщины металла, т. к. начинает образовываться непараллельность реза.

При плазменной резке кислород обеспечивает сгорание разрезаемого металла в струе кислорода, что улучшает параллельность стенок реза, устраняет заусеницы. Кроме того, кислород не азотирует кромки, устраняя пористость.

Водород отдельно как плазмообразующий газ не используется, но может быть добавкой к другим газам. Благодаря своей высокой теплоемкости и теплопроводности он способствует передаче тепла от дуги к металлу, увеличивая эффективность процесса резки. Это особенно важно при резке цветных металлов, обладающих высокой теплопроводностью.

Азот используется и как самостоятельный плазмообразующий газ. В азоте дуга горит при меньших токах, что позволяет снизить тепловую нагрузку на электрод и сопло. Может применяться для резки коррозионностойких сталей, меди, для которых азот является инертным газом.

Недостатками плазменной резки являются сильный шум и большое количество испарений (аэрозолей). Для частичного устранения данных недостатков вместо газа в качестве дополнительной среды используют воду, которая подается в сопло (рис. 7.1, б) или находится небольшим слоем на поверхности разрезаемой детали. Дополнительная среда ограничивает размеры дуги, способствует ее сжатию и концентрации тепла, она защищает сопло от брызг, улучшает его охлаждение. Наличие воды под разрезаемой деталью способствует поглощению газа, аэрозолей и других продуктов резки, уменьшает шум от работы плазмотрона, что улучшает экологичность процесса.

Для выполнения лабораторной работы используется переносной аппарат для плазменной резки JASIC CUT100 (L201), имеющий воздушное охлаждение плазмотрона. Технические характеристики аппарата представлены в табл. 7.1. JASIC CUT100 (L201) – это инверторный аппарат для плазменной воздушной резки. Применяется для прямой и фигурной резки сталей, меди, алюминия, чугуна и других конструкционных материалов.

В качестве плазмообразующего газа используется воздух, для подготовки которого (фильтрации, влаго- и маслоотделения) на задней панели установлен специальный блок, прикрытый защитным козырьком. На боковой панели установлен манометр для определения давления воздуха в процессе резки. Аппарат

работает совместно с компрессором с рекомендуемой производительностью от 250 л/мин и давлением 0,45–0,65 МПа.

Таблица 7.1

Общие технические параметры JASIC CUT100 (L201)

№ п/п	Параметр	Значение
1	Напряжение питающей сети, В	АС 380В ± 15 % (3 фазы)
2	Мощность, кВА	15,2
3	Коэффициент мощности	0,90
4	Напряжение холостого хода, В	315
5	Номинальный диапазон тока, А	20–100
6	Максимальная толщина чистового реза (углеродистая сталь), мм	25
7	Максимальная толщина разделительного реза (углеродистая сталь), мм	35
8	Розжиг дуги	высокочастотный
9	Диапазон давления газа, МПа	0,4–0,6
10	КПД, %	85
11	Размер (Д × Ш × В), мм	568 × 253 × 443
12	Вес, кг	26,5

Панель управления плазморезом простая и удобная. Значение тока резки отражается на цифровом дисплее. Ток плавно регулируется ручкой. Для переключения двух- и четырехтактных режимов работы 2Т/4Т установлен тумблер.

На рис. 7.2 показаны основные конструктивные элементы плазмотрона Р80.



Рис. 7.2. Горелка режущего плазмотрона Р80

Защитный колпачок служит для предохранения основных элементов плазмотрона от попадания частиц горячего металла и пыли.

Сопло является элементом плазмотрона, при помощи которого происходит формирование необходимой формы плазменной струи. Сопло выполняется из меди, комбинации меди и керамики, никелированной стали. Ресурс сопла зависит от:

- характеристик (производителя) установки воздушно-плазменной резки;
- качества подготовки сжатого воздуха;
- химического состава и толщины разрезаемого металла;
- соблюдения рекомендованных режимов резки (сила тока и диаметр сопла для низкоуглеродистой стали: до 50 А (сопло диаметром 1,1 мм)/толщина стали до 6мм; до 70 А (сопло диаметром 1,3 мм)/толщина стали до 15 мм; от 70 А (сопло диаметром 1,5 мм)/толщина стали от 15 мм).

Электрод может быть изготовлен из высококачественных медных сплавов или никелированной стали и имеет вставку из тугоплавкого металла (гафний, вольфрам, цирконий или др.).

Не рекомендуется поджигать дугу в воздухе без необходимости, так как это сокращает срок службы электрода и сопла горелки. Начинать резку рекомендуется с кромки изделия. Во время резки разбрызгивание должно быть снизу изделия, если разбрызгивание идет сверху, то необходимо увеличить ток или снизить скорость перемещения резака плазмотрона. Между деталью и соплом должен быть минимальный постоянный зазор (почти касание).

При резке рекомендуется плавно перемещать горелку. Сопло горелки держат вертикально относительно детали. Не допускается перегиб кабеля во избежание потери подачи газа.

Для обеспечения стабильного розжига дуги необходимо регулярно в перерывах между резками очищать сопло плазмотрона (а также каретку) с внешней стороны от налипших на него капель расплавленного металла.

Оборудование, приборы и материалы

Переносной аппарат для плазменной резки JASIC CUT100, компрессор.

Воздушно-дуговой резак Р80.

Образцы: пластины из низкоуглеродистой стали.

Секундомер.

Измерительный инструмент.

Порядок проведения работы

1. В обязательном порядке ознакомиться с содержанием раздела «Техника безопасности при проведении лабораторных работ» данных указаний.

2. Замерить штангенциркулем толщину основного металла. Данные внести в табл. 7.2 с экспериментальными данными.

3. Изучить элементы управления аппаратом плазменной резки, настроить оборудование на заданный преподавателем режим резки.

Исходные данные и результаты эксперимента

№ опыта	Толщина основного металла, мм	Параметры режима резки					Характеристика внешнего вида реза
		Род и полярность тока	Ток резки, А	Диаметр сопла, мм	Скорость резки, м/мин	Давление газа, МПа	

Порядок включения плазмореза:

- проверка наличия заземления;
- включение общего рубильника системы электроснабжения;
- укладка разрезаемых пластин на стол;
- нажатие кнопки включения аппарата (загорается индикатор);
- выбор нужного режима работы (2Т или 4Т) и требуемых функций (стандартная резка и резка металлической сетки).

4. Установить на оборудовании нужный ток резки (табл. 7.3).

Таблица 7.3

Скорость резки (м/мин)

при токе 40А

Толщина реза (мм)	0,1	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Низкоуглеродистая сталь		8		1,5			0,4			

при токе 60А

Толщина реза (мм)	0,1	5	10	15	20	25
Низкоуглеродистая сталь		1,9	0,5	0,3	0,15	0,1

5. Закрепить разрезаемую пластину, нанести мелом линию реза для контроля скорости резки.

6. Привести сопло горелки в контакт с рабочей деталью (при подключении пилотной дугой расстояние между соплом и деталью должно составлять около 2 мм) и затем нажать кнопку горелки. После того как произошел розжиг дуги, приподнять горелку на расстояние около 1 мм и выполнить резку.

7. Выполнить резку на трех различных токах: 1-й рез – минимальные значения, 2-й рез – средние значения, 3-й рез – максимальные значения. Секундомером замерить время выполнения реза. Вычислить скорость резки и сравнить с рекомендованными значениями.

8. Описать качество получаемого реза, данные внести в табл. 7.2.

9. Сделать выводы о влиянии параметров режима резки на качество реза и производительность процесса.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Таблица с результатами экспериментов.
4. Краткая характеристика результатов экспериментов.
5. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Что такое плазма?
2. Опишите сущность работы плазмотрона для резки.
3. Область применения, преимущества и недостатки плазменной резки.
4. Какие газы используются для плазменной резки?
5. Почему при воздушно-дуговой резке металлов применяется постоянный ток обратной полярности?
6. От чего зависит производительность процесса воздушно-плазменной резки?
7. Изложите основы техники выполнения воздушно-дуговой резки.

Лабораторная работа № 8

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФЕКТНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПО МАКРОШЛИФАМ, ВЫПОЛНЕННЫМ ДУГОВОЙ СВАРКОЙ (4 ЧАСА)

Общие теоретические сведения

Образцы (шлифы) для проведения макроисследований вырезаются из сварных соединений поперек шва на расстоянии 20–30 мм от начала или конца шва во избежание контроля участков с неустановившимся режимом сварки.

Контролируемая поверхность макрошлифа включает сечение шва, зону термического влияния с прилегающими к ней участками основного металла, не находившимися под термическим воздействием сварки, а также подкладное кольцо, если оно применялось при сварке и не подлежало удалению.

Макроструктурный анализ проводят на макрошлифах невооруженным глазом или при увеличении до 30х с помощью лупы или микроскопа.

Металлографический контроль по макрошлифам позволяет выявить:

1) возможные внутренние дефекты сварных соединений (трещины всех видов и направлений; непровары и несплавления, расположенные в сечении сварного соединения; свищи и поры; шлаковые и другие включения; подрезы, наплывы, провисание и незаплавленные кратеры; смещение осей шва и совместный увод кромок свариваемых элементов, а также смещение основного и плакирующего слоев в сварных соединениях двухслойных сталей и т. д.);

2) расположение кристаллитов металла шва;

3) протяженность зоны термического влияния.

Изготовление макрошлифов. Контролируемая поверхность макрошлифа после удаления припуска на механическую обработку обрабатывается на плоскошлифовальном станке с обязательным охлаждением эмульсией, а затем шлифовальной шкуркой различной зернистости. При смене шкурок необходимо менять направление шлифования на 90° и применять водяное охлаждение во избежание перегрева поверхности шлифа.

Обработанную поверхность макрошлифа очищают от грязи водой, протирают ватным тампоном, пропитанным спиртом, и осушают фильтровальной бумагой или сухим воздухом.

Травление макрошлифа должно проводиться химическим способом в соответствующем реактиве погружением шлифа или протиркой контролируемой поверхности ватным тампоном, пропитанным в реактиве, до четкого выявления линии сплавления и макроструктуры металла шва. Реактив для травления макрошлифа должен выбираться в зависимости от материала сварного соединения по СТБ CR 12361 и справочным материалам (например, для низкоуглеродистой стали может быть рекомендован раствор соляной кислоты 100 мл HCl + 100 мл H₂O с температурой 70 °С, в который погружают шлиф до выявления четкой структуры. Осветление шлифа проводят в 5 % спиртовом растворе азотной кислоты).

Для нейтрализации и удаления реактива после травления контролируемая поверхность макрошлифа должна промываться водным содовым раствором, затем водой, протираться ватным тампоном, пропитанным спиртом, и затем тщательно осушаться фильтровальной бумагой или сухим воздухом.

Для классификации дефектов при сварке используется стандарт СТБ ISO 6520-1 «Сварка и родственные процессы. Классификация дефектов по геометрическим параметрам в металлических материалах. Часть 1. Сварка плавлением». В данном стандарте все дефекты разбиты на 6 основных групп, каждой из которых присвоено цифровое обозначение: трещины (100), полости (200), твердые включения (300), несплавление и непровар (400), отклонения формы и размера (500), прочие (600). В пределах каждой группы выделяются подгруппы, которые также имеют порядковый номер. Например, такой дефект, как «микротрещина», имеет номер 1001 и определяется как трещина, видимая исключительно под микроскопом.

Оборудование, приборы и материалы

Набор макрошлифов сварных швов из малоуглеродистой стали, выполненных различными способами сварки.

Лупа.

Штангенциркуль.

Шаблоны УШС-2, УШС-3.

Стандарты СТБ ISO 6520-1, ГОСТ ISO 5817, ГОСТ ISO 9692-1, СТБ CR 12361, ГОСТ 5264, ГОСТ 14771, ГОСТ 8713.

Порядок проведения работы

1. Преподаватель выдает студенту набор макрошлифов сварного соединения. **Запрещается касаться лицевой поверхности макрошлифа руками или инструментами, а также укладывать шлиф на любую поверхность лицевой стороной вниз. Данные действия загрязняют и повреждают поверхность шлифа, приводят его в негодность.**

2. Визуально или с помощью лупы исследовать макроструктуру шлифа с целью выявления наличия или отсутствия дефектов сварки. Если дефекты присутствуют, то их необходимо классифицировать и выполнить эскиз шлифа с указанием месторасположения дефекта.

3. Провести замеры геометрических параметров сварных швов (ширины шва e , выпуклости шва g , катета K). Сравнить данные с размерами, нормируемыми ТНПА значениями: ГОСТ 5264, ГОСТ 14771 и др. Нанести конструктивные размеры шва на эскиз шлифа.

4. Объяснить возможные причины возникновения дефекта. Сделать вывод о допустимости или недопустимости (критичности) данного дефекта для соответствующего вида сварной конструкции и уровня качества С по СТБ ISO 5817.

5. Рассмотрим пример оформления для макрошлифа стыкового сварного соединения на рис. 8.1.

Визуально исследована макроструктура шлифа, определено, что тип сварного соединения С17 (стыковое с V-образной разделкой кромок), выполненное за 3 прохода. В данном соединении выявлены дефекты, показанные на рис. 8.2.



Рис. 8.1. Макрошлиф стыкового сварного соединения сосуда из низкоуглеродистой стали, выполненного ручной дуговой сваркой

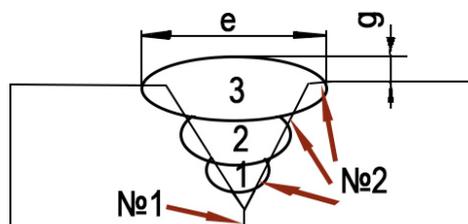


Рис. 8.2. Эскиз макрошлифа многопроходного сварного соединения С17 по ГОСТ 5264: дефект № 1 – непровар корня шва (4021); дефект № 2 – несплавление по кромке (4011); 1, 2, 3 – номера проходов при сварке; e – ширина шва; g – высота выпуклости

Данные дефекты являются недопустимыми для любого уровня качества, и сварное соединение признано негодным. Возникновение данных дефектов может быть связано со следующими факторами:

1. Параметры режима сварки требуют корректировки, или требуется экспериментальная проверка корректности режимов, которые выдает сварочный источник питания.

2. Нарушена техника выполнения многопроходного шва (низкая культура производства или квалификация сварщика).

Проведены замеры геометрических параметров сварного шва С17 с толщиной основного металла 12 мм: ширина шва $e = 15$ мм, выпуклость шва $g = 1,8$ мм.

Согласно ГОСТ 5264 для толщины основного металла ширина шва $e = 19 \pm 2$ мм, $g = 0,5_{-0,5}^{+2,0}$ мм.

Т. о., ширина шва на макрошлифе $e = 15$ мм не соответствует требованиям ГОСТ 5264, который устанавливает ширину шва в диапазоне 17–21 мм. Данный дефект формы шва получен по причине несплавления по разделке кромок валика третьего прохода шва или неправильной разделки кромок (не обеспечен угол скоса кромки $25 \pm 2^\circ$).

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Перечень основных групп дефектов при сварке.
3. Эскизы макрошлифов.
4. Краткая характеристика дефектов и возможных причин их возникновения.
5. Выводы по допустимости или недопустимости дефектов.

Контрольные вопросы

1. Что такое макрошлиф? Опишите технологию его приготовления.
2. Какие группы дефектов при сварке вам известны?
3. Какие ТНПА (стандарты) использованы вами при выполнении лабораторной работы?

Техника безопасности при проведении лабораторных работ

Требования безопасности перед началом работы

К выполнению очередной лабораторной работы студенты могут приступить только после изучения методических указаний, ознакомления с устройством и правилами использования оборудования и приборов.

Студенты несут ответственность за нарушение правил техники безопасности.

Студент обязан применять СИЗ, выдаваемые преподавателем перед началом выполнения лабораторной работы. Визуально проверить наличие и исправность всех установок, кабелей. При обнаружении неисправностей сообщить преподавателю, самостоятельных действий по устранению неисправностей не предпринимать.

Требования безопасности во время работы

Разрешается работать только на исправных экспериментальных установках, с исправными измерительными приборами и инструментами.

Подавать напряжение можно только на зануленное или заземленное электрооборудование. Напряжение можно подавать только с разрешения преподавателя (лаборанта) и под его контролем. Во избежание поражения электрическим током касаться руками клемм и других токоведущих деталей запрещается.

При возникновении каких-либо неисправностей в работе приборов, оборудования немедленно их выключить.

Баллоны с защитным газом содержат газ под высоким давлением и могут взорваться при повреждении. Запрещено подвергать баллоны со сжатым защитным газом воздействию избыточного тепла, открытого пламени, искр и дуги, а также механическим ударам. Запрещается подвешивать сварочную горелку на газовом баллоне. Исключите возможность контакта электрода с баллоном с защитным газом. Закончив сварку, закройте вентиль баллона с защитным газом.

При очистке и удалении шлака с поверхности детали студент обязан применять СИЗ для защиты глаз и рук.

При механизированной сварке заправка сварочной проволоки требует осторожности, движущаяся проволока может нанести механические травмы. Запрещено держать горелку близко к лицу и другим частям тела.

Требования безопасности по окончании работы

Выключить электропитание приборов, оборудования. Навести порядок на рабочих местах. Осколки шлака, обломки деталей удалить с помощью щетки. Сдать преподавателю или лаборанту справочную, методическую и другую литературу, приборы, инструменты.

Действия на случай аварийных ситуаций

При возникновении в рабочей зоне проведения лабораторной работы опасных условий труда (появление запаха гари и дыма, повышенное тепловыделение от оборудования, повышенный уровень шума при его работе, неисправность заземления, загорание материалов и оборудования, прекращение подачи электроэнергии, появление запаха газа и т. п.) необходимо немедленно прекратить работу, выключить оборудование, сообщить о происшествии преподавателю.

Каждый обнаруживший пожар или загорание, обязан:

- немедленно обесточить помещение;
- немедленно сообщить о пожаре по телефону 101;
- немедленно сообщить о пожаре администрации;
- приступить к тушению очага пожара имеющимися на рабочем месте средствами пожаротушения (огнетушитель, песок и т. д.);
- при тушении электроустановок огнетушителями не подходить ближе одного метра до очага горения;
- при применении углекислотных огнетушителей не братья голый рукой за раструб;
- тушение вертикальных конструкций производить сверху вниз.

Студент, находящийся в лаборатории, при получении сообщения об эвакуации обязан: немедленно прекратить занятие; быстро и без паники в сопровождении преподавателя, проводящего занятие, покинуть здание в безопасное место, пройти перекличку у данного преподавателя и ждать последующих указаний; сохранять выдержку и хладнокровие, не допускать паники.

Студент, оставшийся во время пожара в лаборатории, обязан:

- прежде, чем открыть дверь лаборатории, потрогать ее руками. Если она нагрелась, не открывать ее, иначе огонь проникнет в помещение;
- при возможности, покинуть помещение через окно; оказавшись на верхнем этаже, заткнуть щели подручными средствами, чтобы дым не проник в помещение лаборатории;
- сообщить о своем местонахождении (по телефону или привлекая внимание с помощью рук и криков о помощи).

При несчастном случае необходимо быстро принять меры по предотвращению воздействия травмирующих факторов на потерпевшего, оказанию первой помощи пострадавшему, вызову на место происшествия медицинских работников или доставке потерпевшего в организацию здравоохранения. Сообщить о происшествии ответственному лицу за безопасное производство работ, обес-

печить до начала расследования сохранность обстановки, если это не представляет опасности для жизни и здоровья людей.

При поражении электрическим током необходимо освободить пострадавшего от действия тока (выключить рубильник, перерубить провод, оттянуть или отбросить его сухой палкой, шестом). Не прикасаться к пострадавшему, пока он находится под действием тока. Доврачебную помощь оказывать сразу после прекращения воздействия тока. Если пострадавший находится в бессознательном состоянии, то немедленно приступить к массажу сердца и искусственному дыханию до прибытия врача.

Список использованных источников

1. Куликов, В. П. Технология сварки плавлением и термической резки : учебник / В. П. Куликов. – Минск : Новое знание; М. : ИНФРА-М, 2016. – 463 с.
2. Чернышев, Г. Г. Технология электрической сварки плавлением : учебник / Г. Г. Чернышев. – М. : Академия, 2010. – 272 с.
3. Jeffus, L. Welding : Principles and Applications / L. Jeffus. – 7th ed. – Delmar : Cengage Learning, 2012. – 962 p.
4. Кононенко, В. Я. Сварка в среде защитных газов плавящимся и неплавящимся электродом / В. Я. Кононенко. – Киев : Ника-ПРИНТ, 2007. – 266 с.
5. Сварка и родственные процессы. Классификация дефектов по геометрическим параметрам в металлических материалах. Часть 1. Сварка плавлением : СТБ ISO 6520-1-2009. – Введ. 2010-01-01. – Мн. : Госстандарт, 2009. – 44 с.
6. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / под ред. акад. Б. Е. Патона. – М. : Машиностроение, 1974. – 768 с.

Учебное издание

БЕНДИК Татьяна Ивановна
УРБАНОВИЧ Наталья Ивановна
СЕРЕДА Валерий Юрьевич

ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ ПЛАВЛЕНИЕМ И ТЕРМИЧЕСКОЙ РЕЗКИ

Практикум

для студентов специальности 6-05-0714-03 «Инженерно-техническое проектирование и производство материалов и изделий из них» профилизации «Оборудование и технология сварочного производства»

Редактор *А. С. Козловская*
Компьютерная верстка *Н. А. Школьниковой*

Подписано в печать 06.12.2024. Формат 60×84 ¹/₈. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 8,37. Уч.-изд. л. 4,21. Тираж 100. Заказ 362.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.