



РУКОВОДСТВО
К ЛАБОРАТОРНЫМ
РАБОТАМ
ПО СВАРКЕ

1

Таллин, 1969

ТАЛЛИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
Кафедра технологии металлов

РУКОВОДСТВО
К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ
ПО СВАРКЕ

1

Составители: У. Рандмер
О. Буссель
У. Суур

Таллин
1969

Tartu Riikliku Ülikooli
Raamatukogu

238113

ARHIIVKOGU

П р е д и с л о в и е

Настоящее руководство имеет целью помочь студентам в проведении лабораторных работ по технологии металлов. В руководстве содержится описание четырех лабораторных работ по сварке, выбранных по узловым темам этого раздела курса технологии металлов.

Не всегда оказывается возможным приступать в лабораторным работам после прослушания соответствующего цикла лекций. Поэтому описание каждой работы снабжено кратким теоретическим введением. Этим облегчается самостоятельная подготовка студента к лабораторным работам, обеспечивается более сознательное проведение экспериментальной части и правильная оценка полученных результатов. Студент допускается к выполнению экспериментальной части работы только после усвоения содержания работы по данному руководству.

Во время занятия студент заносит результаты опытов и расчетов в тетрадь, которую в конце занятия следует представить преподавателю или мастеру для подписи. На основании этих данных студент составляет отчет, при оформлении которого нужно учитывать следующие требования:

1. Отчет по лабораторной работе писать чернилами разборчивым почерком на одной стороне листа белой бумаги (формата II), оставляя с каждого края листа поля шириной по 25 мм.

2. Каждый отчет должен иметь титульный лист. Штамп заглавной части титульного листа находится в каждой лаборато-

рии (у мастера). В заглавную часть титульного листа должны быть чернилами вписаны:

- а) номер лабораторной работы,
- б) наименование работы,
- в) фамилия студента,
- г) номер учебной группы,
- д) дата выполнения работы.

3. Содержание отчета по каждой лабораторной работе указано в данном руководстве. Описательная часть в отчете должна быть изложена кратко и ясно.

4. Необходимые в отчете рисунки следует выполнять аккуратно тушью или карандашом, используя линейку и циркуль. Рисунки сопровождать необходимыми пояснениями (номер рис., наименование, обозначения с пояснениями и др.).

5. Графики и диаграммы, составляемые по результатам опытов, должны быть:

- а) выполнены на миллиметровой бумаге по лекалу,
- б) иметь наименование,
- в) наклеены на лист отчета.

6. Цифровые результаты расчета должны быть представлены в форме таблиц.

7. На основании результатов опыта необходимо сделать в конце отчета соответствующие выводы.

8. Отчет, не соответствующий предъявляемым требованиям, не зачитывается.

9. Отчет необходимо представить в начале следующего лабораторного занятия.

10. Все отчеты нужно подшить в общую папку, снабженную приклейкой приведенной формы.

Лабораторные работы
по технологии металлов
1966/67 уч.год

Таллинский политехнический институт

ММ-48

Гавриленко Вячеслав Борисович

Общие сведения по разделу "сварка" курса технологии металлов студент может получить из нижеследующих учебников:

1. В.В. Архипов и др. Технология металлов и других конструкционных материалов. Изд. "Высшая школа", М., 1968.

2. Под ред. А.М. Дмитриевича. Технология металлов и других конструкционных материалов. Изд. "Высшая школа", Минск, 1968.

3. П.И. Полухин и др. Технология металлов. Изд. "Высшая школа", М., 1966.

4. Под ред. Н.П. Дубинина. Технология металлов. Изд. "Высшая школа", М., 1964.

Для более глубокого усвоения теоретического материала по лабораторным работам в конце описания каждой работы приведен список литературы.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИСТОЧНИКОВ СВАРОЧНОГО ТОКА

Т е м а. Оборудование для дуговой сварки

Ц е л ь р а б о т ы. Ознакомление с конструкциями однопостовых источников сварочного тока и с требованиями к ним.

А. В в е д е н и е

Под статической внешней характеристикой источника тока понимают зависимость между напряжением U на зажимах источника и током I во внешней цепи источника, т.е. $U = f(I)$. Обычно эта зависимость дается графически в системе координат $U-I$. Характеристика называется "статической" потому, что она не характеризует процессов, протекающих во времени, а "внешней" — потому, что она дает связь между напряжением и током вне источника.

Внешние статические характеристики источника сварочного тока определяются следующими особенностями процесса сварки.

I. Напряжение зажигания дуги U_z значительно выше напряжения ее длительного горения U_d . Поэтому на статической характеристике $U = f(I)$ источника сварочного тока должна быть по меньшей мере одна точка, где U несколько превышает напряжение зажигания дуги U_z . Для характеристики вида 2 на фиг. I наибольшим является напряжение холостого хода т.е. $U_0 \geq U_z$, а для характеристики вида I на фиг. I — напряжение $U_{max} \geq U_z$. С точки зрения безопасности сварщика наибольшее напряжение источника сварочного тока (U_0 или U_{max}) не должно быть больше 80 в. Обычно это максимальное напряжение у источников постоянного тока 40–65 в и у сварочных трансформаторов 50–70 в.

2. Капли расплавленного металла, отделяясь от электрода от 5 до 40 раз в секунду замыкают накоротко сварочную цепь. Поэтому источник сварочного тока должен быть нечувствительным к коротким замыканиям. Последнее требование выполняется, если источник сварочного тока гарантирует ограничение тока короткого замыкания I_K до значения, не превышающего нормальный сварочный ток не более чем на 50-100%. При слишком малом токе короткого замыкания затрудняется зажигание дуги. Поэтому для источников сварочного тока принято

$$1,25 < \frac{I_K}{I_D} < 2,$$

где отношение $\frac{I_K}{I_D}$ называется добротностью источника сварочного тока.

3. В связи с короткими замыканиями и изменением длины дуги в процессе сварки изменяется напряжение на зажимах источника сварочного тока и тем самым напряжение дуги.

Между напряжением и длиной дуги существует при токах выше 50 а линейная зависимость

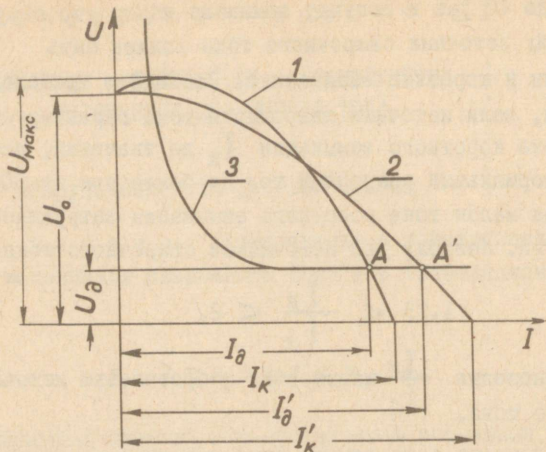
$$U_D = a + bl,$$

где l - длина дуги,
 a и b - коэффициенты, зависящие от материала электрода, рода тока и от характера и давления газовой среды.

В отношении качества сварного шва этим изменениям напряжения не должны сопутствовать сколько-нибудь заметные изменения сварочного тока.

Ограничение тока короткого замыкания и малое изменение сварочного тока при изменении длины дуги обеспечивается источником сварочного тока с падающей внешней статической характеристикой.

На фиг. 1 приведены в виде кривых статические характеристики источников сварочного тока и электрической сварочной дуги.



Фиг.1. Статические характеристики сварочной дуги и источников сварочного тока:

1 - более круто и 2 - менее круто падающие статические характеристики источника сварочного тока; 3 - статическая характеристика сварочной дуги;

U_0 - напряжение холостого хода источника сварочного тока, т.е. напряжение при $I = 0$;

$U_{\text{макс}}$ - максимальное напряжение характеристики источника сварочного тока;

U_d - рабочее напряжение, т.е. напряжение дуги при постоянной ее длине;

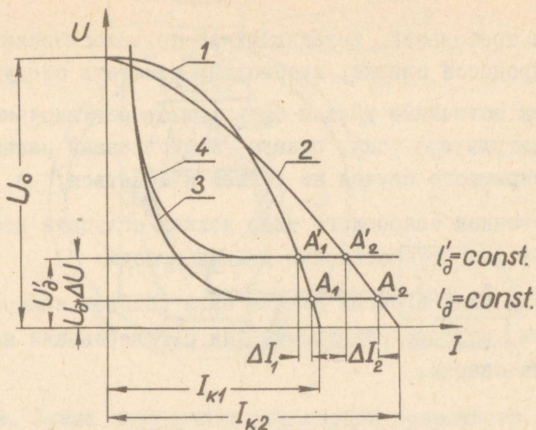
I_d и I'_d - рабочие сварочные токи;

I_k и I'_k - токи короткого замыкания, причем $U \neq 0$;

A и A' - рабочие токи.

Из фиг. 2 видно, что изменение сварочного тока при изменении длины дуги тем меньше, чем круче падает характеристика сварочного тока.

4. Динамическая характеристика источника сварочного тока определяется временем восстановления напряжения источника после короткого замыкания до напряжения, близкого к напряжению зажигания дуги.



Фиг.2. Изменение сварочного тока при изменении длины дуги:

1 — более круто падающая статическая характеристика источника сварочного тока; 2 — менее круто падающая статическая характеристика источника сварочного тока; 3 — статическая характеристика дуги при ее длине $l_2 = \text{const.}$; 4 — статическая характеристика дуги при ее длине $l_2 = \text{const.}$;
 U_0 — напряжение источника сварочного тока, соответствующее длине дуги l_2 ;
 U_a — напряжение источника сварочного тока, соответствующее длине дуги l_2 ;
 $I_{к1}$ и $I_{к2}$ — токи короткого замыкания;
 ΔI_1 и ΔI_2 — изменения сварочного тока;
 ΔU — изменение напряжения дуги.

Согласно ГОСТ 304-51 сварочный генератор должен обладать такими динамическими свойствами, чтобы при переходе от короткого замыкания к холостому ходу время восстановления напряжения до 25 в не превосходило 0,05 сек. У лучших современных генераторов сварочного тока это время всего лишь 0,02 сек.

Сварочные трансформаторы обладают малой электромагнитной инерцией, так что они всегда удовлетворяют этому требованию.

5. Из требований, вытекающих из технологических особенностей процесса сварки, необходимо отметить следующие:

а) ток источника должен быть плавно регулируемым при помощи регулятора тока, однако установленный режим для каждого конкретного случая не должен изменяться;

б) источник сварочного тока должен обладать достаточной мощностью для осуществления данной работы;

в) сварочный агрегат должен быть снабжен измерительными приборами, которые необходимы для регулирования нормального режима сварки.

Б. Экспериментальная часть

З а д а н и е. Произвести необходимые измерения у сварочного генератора и трансформатора с целью получения данных для построения внешних статических характеристик источников сварочного тока.

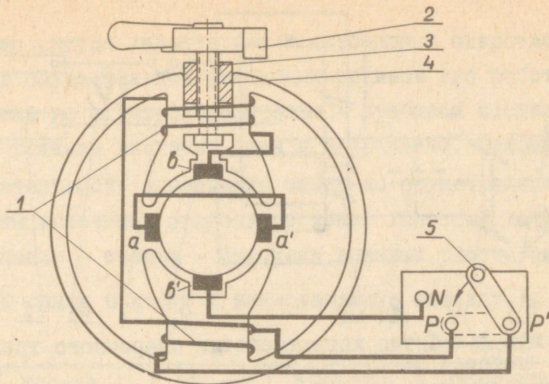
Оборудование и материалы

1. Исследуемый сварочный генератор совместно с необходимым оборудованием и измерительными приборами. На фиг. 3а приведена схема генератора, а на фиг. 3б — схема соединения приборов для опыта.

2. Исследуемый источник питания дуги переменным током — сварочный трансформатор (типа ТС или ТСК) с измерительными приборами, схема соединения которых приведена на фиг. 4а

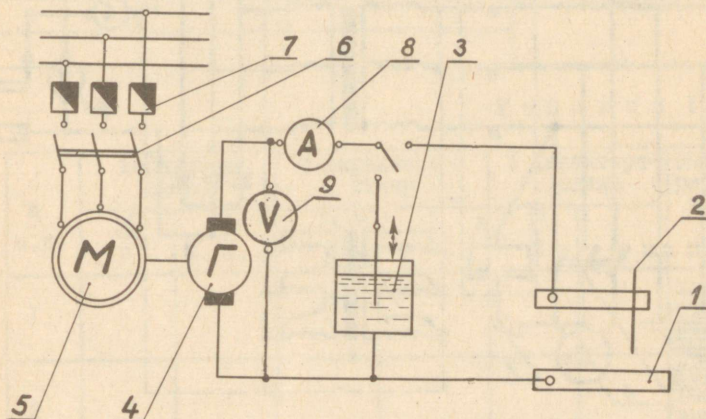
3. Исследуемый сварочный выпрямитель (типа ВСС-300) с измерительными приборами, схема соединения которых приведена на фиг. 4б.

Х о д р а б о т ы. В данной работе необходимо построить по три характеристики для каждого исследуемого источника питания дуги — для сварочного генератора, трансформатора и выпрямителя, т.е. всего девять кривых.



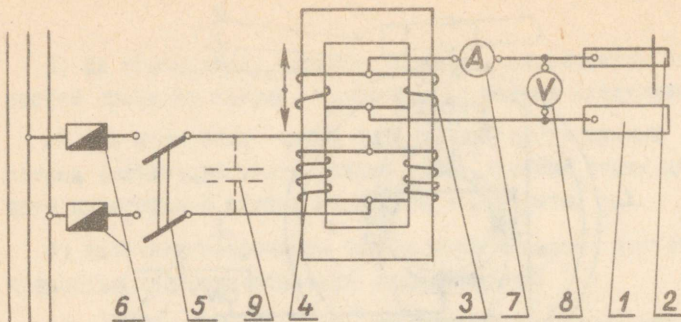
Фиг. 3а. Схема внутренних соединений сварочного генератора:

1 - намагничивающая последовательная обмотка возбуждения; 2 - рукоятка плавного регулирования тока; 3 - винт регулятора тока; 4 - подвижный сердечник регулятора тока; 5 - ступенчатый регулятор тока; а - а' - короткозамкнутые вспомогательные щетки; б - б' - главные щетки.



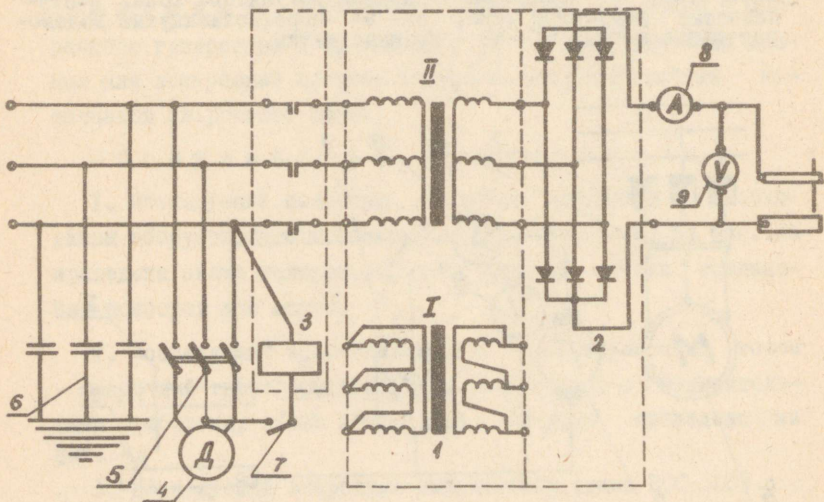
Фиг. 3б. Схема снятия характеристик:

1 - свариваемая деталь; 2 - электрод; 3 - водяной реостат; 4 - генератор сварочного тока; 5 - электродвигатель; 6 - выключатель электродвигателя; 7 - предохранители; 8 - амперметр постоянного тока; 9 - вольтметр постоянного тока.



Фиг. 4а. Схема снятия характеристик сварочного трансформатора:

1 - свариваемая деталь; 2 - электрод; 3 - вторичная обмотка сварочного трансформатора; 4 - первичная обмотка сварочного трансформатора; 5 - выключатель; 6 - предохранители; 7 - амперметр переменного тока; 8 - вольтметр переменного тока; 9 - компенсирующий конденсатор (только у ТСК).



Фиг. 4б. Схема внутренних соединений и снятия характеристик сварочного выпрямителя ВСС-300: I-соединение обмоток треугольником (большие токи); II-соединение обмоток звездой (малые токи); I-трансформатор; 2-выпрямительный блок; 3-магнитный пускатель; 4-электродвигатель вентилятора; 5-пакетный выключатель; 6-конденсаторы снижения радиопомех; 7-реле контроля вентиляции; 8-амперметр постоянного тока; 9-вольтметр постоянного напряжения.

Процесс снятия характеристик источников сварочного тока состоит в осуществлении различных режимов его работы и в определении по электроизмерительным приборам соответствующих этим режимам значений тока и напряжения. Рекомендуемая последовательность проведения опыта по осуществлению режимов работы источника сварочного тока: холостой ход - короткое замыкание - сварка - нагрузка водяным реостатом.

Данные опыты занести в нижеследующую таблицу Ia.

Т а б л и ц а I a

№ п.п.	I хар-ка		2 хар-ка		3 хар-ка		Примечания по режиму работы источника
	U в	I а	U в	I а	U в	I а	
1							Холостой ход
2							Короткое замыкание
3							Сварка (нагрузкой является дуга)
4							Нагрузка водяным реостатом
5							
6..							

Т а б л и ц а I б и в

№ п.п.	I характери-стика		2 характери-стика		3 характери-стика		Режим работы
	U в	I а	U в	I а	U в	I а	
1							Холо-стой ход
2							Корот-кое замы-кание
3							Сварка

Точки I характеристики получают при определенном неизменном положении регулятора тока.

После получения данных по первой характеристике повторяем опыт при каком-либо другом положении регулятора тока, чтобы получить данные для построения второй характеристики и т.д.

Сварочный ток генератора с поперечным полем регулируется грубо переключением секции последовательной обмотки возбуждения, а плавно — изменением магнитной индукции в полюсах генератора.

П р и м е ч а н и е. Водяной реостат служит для получения точек характеристик источника постоянного сварочного тока в области малых токов, т.к. электрическая сварочная дуга не является устойчивой нагрузкой для источника сварочного тока при малых токах (нагрузку источника тока сварочной дугой заменяем нагрузкой водяным реостатом).

В случае сварочного трансформатора и выпрямителя находим для каждой характеристики только три точки, соответствующие режимам работы: холостой ход — короткое замыкание — сварка.

Плавно падающие кривые, полученные каждая по трем точкам, достаточно точно соответствуют статическим характеристикам трансформатора и выпрямителя. Ввиду того, что для получения характеристик сварочного трансформатора и выпрямителя отпадает необходимость нагружать их при малых токах, нет также необходимости пользоваться водяным реостатом.

Таблицы замеров (таблицы Iб и Iв) аналогичны предыдущей, только без нагрузки водяным реостатом (отсутствуют строчки 4 и далее).

Для каждого источника сварочного тока надо снять три характеристики, соответствующие трем расположениям регулятора тока.

У сварочного трансформатора ТС (или ТСК) ток регулируется только путем плавного изменения расстояния между обмотками, что изменяет магнитное рассеяние трансформатора.

У сварочного выпрямителя ВСС ступенчатое регулирование сварочного тока производится за счет переключения обмоток, а именно: при включении первичной и вторичной обмоток трансформатора звездой Υ - малые токи; при включении треугольником Δ - большие токи. В пределах каждого диапазона сварочный ток плавно регулируется изменением расстояния между нижней - первичной (подвижной) и верхней - вторичной (подвижной) обмотками. С изменением расстояния между обмотками изменяется также магнитное рассеяние трансформатора выпрямителя.

В. Прикладная (расчетная) часть

З а д а н и е. По результатам измерений рассчитать величины, характеризующие источники сварочного тока.

С в а р о ч н ы й г е н е р а т о р

1. Рассчитать сопротивления водяного реостата во всех точках характеристик, полученных при помощи водяного реостата.

$$r_{вр} = \frac{U}{I} \text{ ом,}$$

где $r_{вр}$ - сопротивление водяного реостата, ом;

U - напряжение, в

I - ток, а,

} отсчитанные по измерительным приборам.

Данные оформлять в виде таблицы 1г.

Т а б л и ц а Iг

Характеристика Точки	I характе- ристика				2 характе- ристика				3 характе- ристика			
	4	5	6	7	4	5	6	7	4	5	6	7
Напряжение, в												
Ток, а												
Сопротивление, ом												

2. Для одной из характеристик рассчитать динамическое сопротивление генератора в четырех ее точках (холостого хода, максимального напряжения, сварки и короткого замыкания).

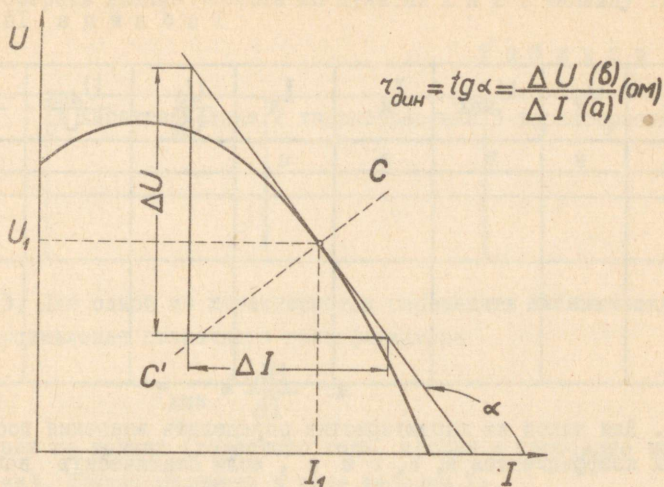
Динамическим сопротивлением $r_{\text{дин}}$ источника тока называется значение производной его характеристики в данной точке

$$r_{\text{дин}} = \frac{dU}{dI} \text{ ом.}$$

Из аналитической геометрии известно, что значение производной функции при данном значении ее аргумента определяется величиной тангенса угла наклона касательной к кривой в данной точке (крутизной кривой в данной точке). Отсчет угла наклона касательной производится от положительного направления оси абсцисс, и тангенс угла определяется с учетом масштаба по осям из вспомогательного треугольника, как показано на фиг. 5. Точность проведения касательной к кривой в данной точке ограничена, поэтому рекомендуют провести к кривой через ее данную точку нормаль, считая кривую около данной точки участком дуги окружности, а потом перпендикулярно к' нормали провести касательную.

Данные расчета оформлять в виде таблицы Iд.

3. Определить отношения $\frac{U_0}{U_d}$, $\frac{U_{\text{макс}}}{U_0}$ и $\frac{I_k}{I_d}$ для одной характеристики сварочного генератора. Данные оформлять в виде таблицы Iе.



Фиг. 5а. Определение динамического сопротивления источника сварочного тока.

Т а б л и ц а I д

Точка	Величина	ΔU в	ΔI а	$r_{\text{дин}}$ ом
	Холостого хода			
	Максимального напряжения			
	Короткого замыкания			
	Режима сварки			

U_0	U_k	U_{\max}	I_k	I_d	$\frac{U_0}{U_d}$	$\frac{U_{\max}}{U_0}$	$\frac{I_k}{I_d}$
в	в	в	а	а			

4. Для одной из характеристик определить значения постоянных коэффициентов a , b , c и d , если статическую вольт-амперную характеристику выразить формулой

$$U = a I^3 + b I^2 + c I + d.$$

При определении постоянных a, b, c , и d пользоваться значениями тока и напряжения в точках холостого хода, максимального напряжения, сварки и короткого замыкания.

С в а р о ч н ы й т р а н с ф о р м а т о р

1. Для каждой характеристики трансформатора определить индуктивность вторичной цепи трансформатора по формуле

$$L_2 = \frac{U_0}{2\pi f I_k} \text{ гн,}$$

где f - частота тока (обычно $f = 50$ г).

2. Предполагая, что напряжение и ток синусоидальны, рассчитать в рабочих точках (при режиме сварки) индуктивность вторичной цепи трансформатора по формуле

$$L'_2 = \frac{\sqrt{U_0^2 - U_d^2}}{2\pi f I_d} \text{ гн.}$$

Собрать данные расчета по пунктам 1 и 2 в таблицу Iж.

Т а б л и ц а Iж.

	1 характеристика	2 характеристика	3 характеристика
L_2			
L_2'			

3. Для одной из характеристик определить динамические сопротивления сварочного трансформатора

$$r_{\text{дин}} = \frac{dU}{dI} \text{ ом}$$

в трех ее точках (холостого хода, сварки и короткого замыкания). Данные оформить в виде таблицы Iз.

Т а б л и ц а Iз.

Величина \ Точка	ΔU	ΔI	$r_{\text{дин}}$
	в	а	ом
Холостого хода			
Сварки			
Короткого замыкания			

4. Определить отношения $\frac{U_0}{U_d}$ и $\frac{I_k}{I_d}$ для одной характеристики сварочного трансформатора в $I_{\text{д}}$ виде таблицы Iи.

Т а б л и ц а Iи.

U_0	U_d	I_k	I_d	$\frac{U_0}{U_d}$	$\frac{I_k}{I_d}$
в	в	а	а		

5. Для одной из характеристик определить значения коэффициентов a , b , c , и d , а также коэффициентов A , B и C , если вольтамперная характеристика выражается формулами

$$a) U = aI^2 + bI + c,$$

$$б) (I - A)^2 + (U - B)^2 = C^2.$$

Сварочный выпрямитель

1. Для одной из характеристик определить динамические сопротивления сварочного выпрямителя

$$r_{\text{дин}} = \frac{dU}{dI} \text{ ом}$$

в трех ее точках (холостого хода, сварки и короткого замыкания). Данные оформить в виде таблицы 1к.

Т а б л и ц а 1к

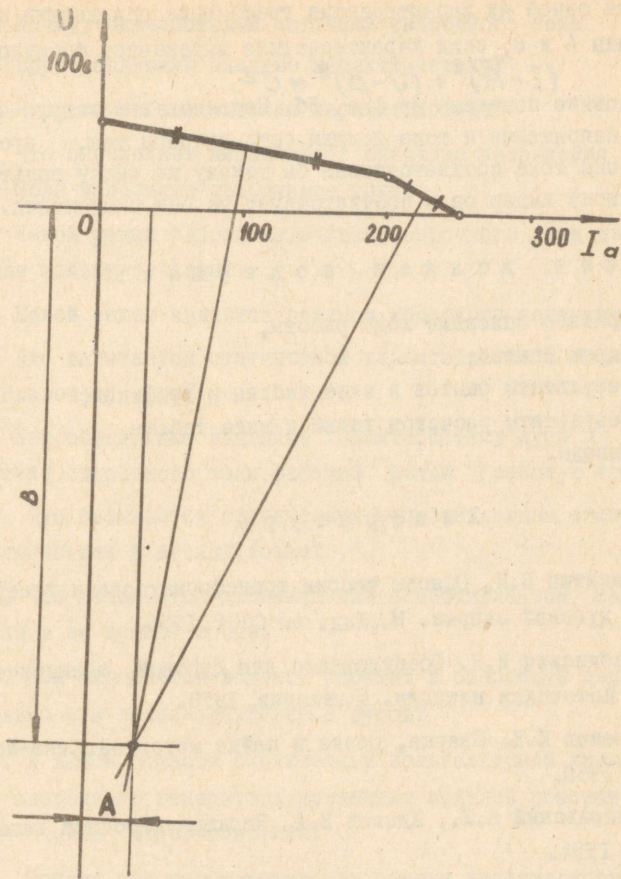
Точка \ Величина	ΔU	ΔI	$r_{\text{дин}}$
	в	а	ом
Холостого хода			
Сварки			
Короткого замыкания			

2. Определить отношения $\frac{U_0}{U_d}$ и $\frac{I_k}{I_d}$ для одной из характеристик сварочного выпрямителя в виде таблицы 1л.

Т а б л и ц а 1л

U_0	U_d	I_k	I_d	$\frac{U_0}{U_d}$	$\frac{I_k}{I_d}$
в	в	а	а		

3. Для одной из характеристик определить значения коэффициентов a , b и c , если вольтамперная характеристика выпрямителя выражается формулой



Фиг. 56. Графическое определение коэффициентов А и В в выражении $(I-A)^2 + (U-B)^2 = C^2$ статической вольтамперной характеристики сварочного выпрямителя.

4. Для одной из характеристик графически определить коэффициенты А и В, если характеристика выражается формулой

$$(I-A)^2 + (U-B)^2 = C^2.$$

Построение показано на фиг. 5б. Надо иметь в виду, что масштаб напряжения и тока должны быть выбраны так, чтобы I мм на оси тока соответствовал бы такому же числу вольт, к какому числу ампер он и соответствует на оси напряжения.

О т ч е т д о л ж е н с о д е р ж а т ь :

- 1) краткое описание хода работы,
- 2) схемы опытов,
- 3) результаты опытов в виде таблиц и графиков,
- 4) результаты расчетов также в виде таблиц,
- 5) выводы.

Л и т е р а т у р а

1. Никитин В.П. Основы теории трансформаторов и генераторов для дуговой сварки. М., Изд. АН СССР, 1956.
2. Рабинович И.Я. Оборудование для дуговой электрической сварки. Источники питания. М., Машгиз, 1958.
3. Хренов К.К. Сварка, резка и пайка металлов. Киев-Москва, Машгиз, 1959.
4. Цегельский В.Л., Жданов В.А. Электросварочное дело. М., Машгиз, 1954.
5. Технология электрической сварки плавлением. Под редакцией лауреата Ленинской премии, академика Б.Е. Патона. Москва-Киев, Машгиз, 1962.

В о п р о с ы д л я с а м о п р о в е р к и

1. Что называется внешней характеристикой источника сварочного тока?
2. Какая из характеристик источника тока является падающей, какая - жесткой и какая - восходящей?

3. Почему однопостовый источник сварочного тока должен иметь круто падающую внешнюю характеристику?
4. Что значит статическая характеристика?
5. Что определяет минимальное значение напряжения холостого хода источника сварочного тока?
6. Какой режим работы источника сварочного тока является режимом холостого хода?
7. Какой режим является режимом короткого замыкания?
8. Что называется статической характеристикой электрической сварочной дуги?
9. Как определяют заданные характеристику дуги и характеристику сварочного тока, рабочий режим (рабочую точку).
10. Что называется статическим сопротивлением статической характеристики в данной точке?
11. Что называется динамическим сопротивлением характеристики в ее данной точке.
12. Как включается водяной реостат в сварочную цепь: параллельно или последовательно с дугой?
13. В какой области статической вольтамперной характеристики сварочного генератора применяют водяной реостат для снятия точки характеристики?
14. Почему при малых токах при снятии характеристики сварочного генератора применяют водяной реостат?
15. Как обеспечивают получение круто падающей внешней характеристики сварочного трансформатора?
16. Как обеспечивают получение круто падающей внешней характеристики сварочного генератора?
17. Как регулируется сварочный ток трансформатора?
18. Как регулируется сварочный ток генераторов вообще?

19. Как регулируется сварочный ток сварочного трансформатора типа ТС?

20. Как производится грубая ступенчатая регулировка сварочного тока у исследуемого генератора?

21. Как осуществляется тонкая (плавная) регулировка сварочного тока у исследуемого генератора?

22. Перечислите преимущества горбатобразной вольтамперной характеристики сварочного генератора.

23. При каком роде тока можно говорить о сдвиге фазы между напряжением и током?

24. Почему сварочные трансформаторы должны иметь на вторичной стороне большой сдвиг фазы между током и напряжением и, следовательно, низкий коэффициент мощности?

25. Что называется коэффициентом мощности сварочного трансформатора?

26. Почему низкий коэффициент мощности ($\cos \varphi$) не желателен на первичной стороне трансформатора?

27. Как повысить коэффициент мощности на первичной стороне трансформатора?

28. В каких единицах измеряется сдвиг фазы между напряжением и током?

29. Что называется прямой полярностью при сварке на постоянном токе?

30. Что называется обратной полярностью при сварке на постоянном токе?

31. Когда надо применять прямую полярность и когда обратную полярность?

32. Сколько фаз у трансформатора сварочного выпрямителя ВСС?

33. Как производится грубое регулирование сварочного тока выпрямителя ВСС?

34. Какое соединение обмоток трансформатора сварочного.

выпрямителя соответствует большому, какое меньшим токам?

35. Как можно плавно регулировать сварочный ток выпрямителя ВСС?

36. Какие вентили применены в выпрямителе ВСС?

37. Для чего у сварочного выпрямителя ВСС применяется вентилятор?

Лабораторная работа № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ (КОЭФФИЦИЕНТОВ) ПРИ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКЕ СТАЛИ

Т е м а. Тепловое действие электрической сварочной дуги

Ц е л ь р а б о т ы. Ознакомление с энергетическим балансом и процессом расплавления электрода и проплавления основного металла при ручной дуговой электросварке.

А. В в е д е н и е

Для проплавления основного металла и для расплавления электрода при сварке требуется источник тепла с достаточно большой мощностью и высокой температурой. Одним из источников тепла, удовлетворяющим требованиям сварки, является электрическая дуга.

Мощность электрической сварочной дуги

$$P_{д} = U_{д} I_{д} \text{ вт} \quad (1)$$

частично выделяется в окружающую среду в виде тепловых потерь $P_{пот}$ путем лучеиспускания, конвекцией и на теплоемкость брызг металла, часть полезно используется на расплавление электрода и часть непосредственно передается из дуги в основной металл. Расплавленный металл и покрытия электрода, переходящие в сварочную ванну, передают свое тепло основному металлу.

Передаваемая в основной металл в виде тепла мощность дуги, называемая эффективной мощностью дуги, определяется формулой

$$P_{и} = U_{д} I_{д} \eta_{и} \text{ вт}, \quad (2)$$

где U_d - напряжение дуги;
 I_d - ток дуги;
 $\eta_{и}$ - эффективный к.п.д. нагрева основного металла дугой (0,7-0,85 для ручной дуговой сварки качественным электродом).

Из эффективной мощности дуги только часть расходуется на проплавление основного металла

$$P_{пр} = P_{и} \eta_{т} = U_d I_d \eta_{и} \eta_{т}, \quad (3)$$

где $\eta_{т}$ - термический к.п.д. ($\eta_{т}=0,12-0,36$ для больших толщин и $\eta_{т}=0,15-0,48$ для малых толщин свариваемого металла).

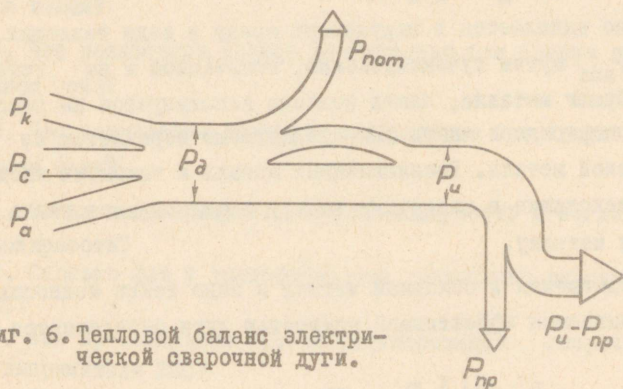
С увеличением силы тока, скорости сварки и угла наклона электрода в направлении ведения сварки $\eta_{т}$ увеличивается.

Все эти расходы тепла покрываются мощностью дуги

$$P_d = P_a + P_c + P_k, \quad (4)$$

которая выделяется в трех зонах дуги: P_a - в анодной области, P_k - в катодной и P_c - в области столба дуги.

Общая картина выделения тепла в разных зонах дуги и ее расходования называется тепловым балансом сварочной дуги. Его можно графически изобразить так, как показано на фиг.6.



Фиг. 6. Тепловой баланс электрической сварочной дуги.

Ближе ознакомиться с тепловым балансом электрической сварочной дуги можно по литературе (например, по Л1 стр. 164, Л3 стр. 23-24 и стр. 32-35 или Л4 стр. 35-40, Л2 фиг. 2 и стр. 193).

Остановимся на электродах и на процессе их расплавления.

К основным факторам, определяющим свойства электродов, относятся: состав и диаметр электродной проволоки (электродного стержня), состав и относительный вес покрытия.

Состав применяемой электродной проволоки зависит от требуемого химического состава и свойств наплавленного металла. Для стали он регламентируется по ГОСТ 2246-60.

Электродную проволоку выпускают диаметром от 0,3 до 12 мм. В практике ручной дуговой сварки применяется преимущественно проволока диаметром 2-10 мм. Длина электрода 225-450 мм в зависимости от диаметра проволоки.

Электродные покрытия предназначены для стабилизации дуги, защиты наплавленного металла от воздействий вредных составляющих воздуха (кислорода, азота), для раскисления и легирования металла шва.

При сварке голой проволокой горение дуги неустойчиво. На переменном токе сварка голой проволокой вообще невозможна. Для повышения стабильности дуги на стержень наносятся тонким слоем или вводятся в электродное покрытие соединения щелочных или щелочно-земельных металлов (Са, К, Na и др.) с низким потенциалом ионизации. Такими материалами являются мел, мрамор, поташ, полевой шпат и др.

Металл, наплавленный голым электродом, обладает низкими механическими свойствами вследствие значительного его окисления и насыщения азотом в процессе сварки. Для защиты металла от воздуха на электрод наносят покрытия, образующие при расплавлении защитные газы и шлаки.

Газообразующими материалами являются органические вещества (крахмал, декстрин, целлюлоза и др.) и минералы (мрамор CaCO_3 , магнезит MgCO_3), дающие при диссоциации газы (CO_2 , CO).

Шлакообразующие вещества, основной задачей которых является создание шлакового покрова, защищающего расплавленный металл от атмосферного воздуха, активно участвуют в металлургических процессах, протекающих в шлаках. Наиболее часто применяемыми шлакообразующими веществами являются марганцевая руда MnO_2 , гематит Fe_2O_3 , мрамор CaCO_3 , кварц SiO_2 , рутил TiO_2 и др.

Окисление металла шва может происходить также за счет кислорода покрытия или остатков ржавчины или окалины на свариваемых металлах. В качестве раскислителей при сварке чаще всего используют элементы, обладающие достаточно высоким сродством к кислороду. Эти элементы вводятся в электродные покрытия в виде ферросплавов. Такими материалами являются ферросилиций, ферротитан, ферромарганец, реже ферроалюминий. Для диффузионного раскисления состав покрытия подбирается таким образом, чтобы поступающая в шлак закись железа связывалась в ней в силикаты (и титанаты) и тем самым способствовала непрерывному переходу FeO из металла в шлак.

Для получения металла шва с определенными механическими свойствами в него вводятся специальные элементы (марганец, кремний, хром, молибден, ванадий и др.). Легирование металла шва этими элементами осуществляется как через покрытие, так и через проволоку. В покрытия электродов эти материалы также вводятся обычно в виде соответствующих ферросплавов.

Кроме отмеченных материалов, в электродные покрытия еще вводятся: для разжижения шлака — плавиковой шпат CaF_2 , полевой шпат KAlSi_3O_8 и др.; для лучшего формирования покрытия, иногда, — каолин, декстрин, бетонит и др.; и в качестве свя-

зующего материала — жидкое натриевое стекло и феноло-формальдегидная смола (бакаелит).

Количество покрытия на электроде оказывает большое влияние на состав и свойства наплавленного металла.

Уменьшение относительной массы покрытия ниже определенной приводит к резкому снижению защиты и легирования металла, что сопровождается понижением механических свойств металла шва.

Увеличение количества покрытия на электроде приводит к удлинению дуги, к повышению напряжения и мощности дуги. Однако при чрезмерном увеличении толщины покрытия образуется лишнее количество шлака, что может привести к затрудненному оперированию электродом и ухудшению качества шва.

Технологическими показателями (коэффициентами) при ручной дуговой сварке являются:

1. Коэффициент расплавления, представляющий собой удельную производительность (производительность, отнесенная к I и сварочного тока) процесса расплавления

$$\alpha_p = \frac{G_p}{T_{осн} I_d} \quad \frac{\text{кг}}{\text{а.сек}},$$

где α_p — масса расплавленного за время $T_{осн}$ электродного металла в кг;

I_d — среднее значение сварочного тока за время $T_{осн}$;

$T_{осн}$ — время плавления электрода (горения дуги) — основное технологическое время в сек.

2. Коэффициент наплавки (эффективность наплавки)

$$\alpha_n = \frac{G_n}{T_{осн} I_d} \quad \frac{\text{кг}}{\text{а.сек}},$$

где α_n — масса наплавленного металла в граммах.

3. Коэффициент потерь

$$\psi = \frac{G_p - G_n}{G_p}$$

характеризует потери металла электрода на испарение, разбрызгивание и окисление.

4. Коэффициент набрызгивания

$$\psi_n = \frac{G_{бр}}{G_n}$$

выражает отношение суммы масс брызг $G_{бр}$, удаленных щеткой и скребком с поверхности пластинки к массе наплавленного металла G_n .

5. Коэффициент массы покрытия

$$K = \frac{G_{п}}{G_{м}}$$

представляющий собой отношение массы покрытия $G_{п}$ к массе металла стержня на длине обмазанной части $G_{м}$.

6. Коэффициент массы покрытия

$$K_I = \frac{G_{п}}{G_{эм}}$$

представляющий собой отношение массы покрытия $G_{п}$ к массе всего стержня электрода $G_{эм}$.

7. Коэффициент шлакообразования (выхода шлака)

$$\xi = \frac{G_{ш}}{G_{п}}$$

представляющий собой отношение массы шлака $G_{ш}$ к массе покрытия $G_{п}$, из которого образуется шлак.

8. Удельный расход электроэнергии на расплавление электрода

$$W_p = \frac{U_d}{\alpha_p} \frac{Дж}{кг}$$

где U_d - напряжение дуги в вольтах.

9. Удельный расход электроэнергии на наплавление металла

$$W_n = \frac{U_d}{\alpha_n} \frac{дж}{кг}.$$

10. Показатели влияния полярности на процесс плавления электрода

$$P_p = \frac{\alpha_{рп}}{\alpha_{ро}} = \frac{W_{ро}}{W_{рп}}; \quad P_n = \frac{\alpha_{нп}}{\alpha_{но}} = \frac{W_{но}}{W_{нп}};$$

$$P_\psi = \frac{\psi_p}{\psi_o}; \quad P_{\psi_n} = \frac{\psi_{нп}}{\psi_{но}}; \quad P_\xi = \frac{\xi_p}{\xi_o},$$

где $\alpha_{рп}$, $\alpha_{нп}$, $W_{рп}$, $W_{нп}$, ψ_p и $\psi_{нп}$ - значения соответствующих коэффициентов - показателей, полученных при прямой полярности, а $\alpha_{ро}$, $\alpha_{но}$, $W_{ро}$, $W_{но}$, ψ_o и $\psi_{но}$ их значения, полученные при обратной полярности.

Если некоторые из коэффициентов P_p , P_n , P_ψ , P_{ψ_n} и P_ξ намного отличаются от единицы, тогда можно констатировать сильное влияние полярности сварки на соответствующие технологические показатели.

При сварке на переменном токе не существует двух понятий полярности, все технологические показатели имеют каждый одно значение, и показатели влияния полярности равны единице.

Б. Экспериментальная часть

З а д а н и е. Произвести необходимые измерения у электрода и образца-пластинки для расчета технологических коэффициентов ручной дуговой сварки.

Оборудование и материалы

1. Сварочный пост постоянного (переменного) тока со всеми регистрирующими приборами (амперметр, вольтметр и секун-

домер) и инструментами сварщика (защитный щиток, рукавицы, молоток, зубило и стальная щетка).

2. Технические весы, штангенциркуль и линейка.

3. Исследуемый качественный (толстообмазанный) электрод и образец-пластинка.

Х о д р а б о т ы. Взвешиваем на технических весах образец-пластинку, на которую производится наплавка, и исследуемый электрод, также измеряем линейкой исходную длину последнего.

Затем определяем диаметр стержня электрода и в соответствии с этим задаемся необходимым сварочным током (по справочнику или по имеющейся в лаборатории таблице).

Далее, наплавим исследуемым электродом валик на образец-пластинку, причем определяем длительность сварки $T_{осн}$ и средние значения сварочного тока I_d и напряжения дуги U_d .

Длительность сварки определяется секундомером, средние значения тока и напряжения самопишущими приборами. Ориентировочно можно средние значения тока и напряжения определить по наиболее часто встречающимся показаниям обычных щитовых ампер- и вольтметров.

После остывания образца и электрода определяем их массу и длину остатка электрода, а также массу шлака, брызг и наплавленного на пластинке металла. Для этого в первую очередь взвешиваем образец вместе со шлаком и брызгами, затем удаляем шлак и взвешиваем только металлическую часть образца и, наконец, отделяем брызги и взвешиваем образец снова.

Результаты измерений представить в форме таблицы 2а, куда внести также обозначение электрода, род и полярность тока. Обозначение электрода дать по ГОСТ 9467-60, по которому условное обозначение электрода должно содержать - марку электрода, тип электрода, диаметр электродного стержня, вид покрытия и номер ГОСТ, например: УОНИ-13/55-Э50А-4, 0-Ф-ГОСТ 9467-60.

Величина	Перед сваркой	После сварки	Во время сварки
Масса электрода, кг	$Q_1 =$	$Q_2 =$	—
Длина электрода, м	$l_1 =$	$l_2 =$	—
Диаметр электродного стержня, м	$d =$	—	—
Масса образца, кг	$P_1 =$	$P_2 =$	—
— " — со шлаком и брызгами, кг	—	$P_2' =$	—
— " — с брызгами, кг	—	$P_2'' =$	—
Время сварки, сек	—	—	$T_{осн} =$
Среднее значение тока, а	—	—	$I_d =$
Среднее значение напряжения, в	—	—	$U_d =$
Обозначение электрода:			
Род тока:			
Полярность:			

В. Р а с ч е т н а я ч а с т ь

З а д а н и е. По измеренным величинам, приведенным в таблице 2а, рассчитать технологические показатели и сравнить их значения с литературными данными. Расчет производится при помощи следующих формул:

$$\alpha_p = \frac{\pi d^2 (l_1 - l_2) \rho}{4 T_{осн} I_d} \quad \frac{\text{кг}}{\text{а} \cdot \text{сек}},$$

где $\rho = 7,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ — плотность стержня электрода;

$$\alpha_n = \frac{P_2 - P_1}{T_{осн} I_d} \quad \frac{\text{кг}}{\text{а} \cdot \text{сек}};$$

$$\psi = \frac{\alpha_p - \alpha_n}{\alpha_p} = 1 - \frac{\alpha_n}{\alpha_p};$$

$$K = 4 \frac{Q_I - Q_2 - \frac{\pi d^2}{4} (l_1 - l_2) \rho}{\pi d^2 (l_1 - l_2) \rho} = \frac{4(Q_I - Q_2)}{\pi d^2 (l_1 - l_2) \rho} - I;$$

$K_I \approx 0,9K$ при длине необмазанной части электрода около 30 мм и длине электрода 250 - 450 мм.

$$\xi = \frac{P_I' - P_2''}{Q_I - Q_2 - \frac{\pi d^2}{4} (l_1 - l_2) \rho};$$

$$\psi_H = \frac{P_2'' - P_I}{P_2 - P_I};$$

$$W_P = 4 \frac{U_D I_D T_{\text{осн}}}{\pi d^2 (l_1 - l_2) \rho} \frac{\text{Дж}}{\text{кг}};$$

$$W_H = \frac{U_D I_D T_{\text{осн}}}{P_2 - P_I} \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$$

При оформлении отчета надо полученные значения технологических коэффициентов сопоставить с литературными данными (например, Л2 стр.13-24; Л3 таблица 4) в виде нижеследующей таблицы 26*.

Т а б л и ц а 26

	α_p	α_H	ψ	K	K_I	W_P	W_H
Найденное значение							
Данные по литературе							

Г. Прикладная часть

З а д а н и е. Применить результаты эксперимента к решению задачи.

* Для сравнения данных опытов с литературными данными надо их выразить в одной и той же системе единиц (предпочтительнее система СИ).

Исходные данные задачи (тип сварного соединения и некоторые его размеры) оформляются преподавателем.

Выбрать и определить:

1. Способ разделки кромок.
2. Сварочный ток I_D .
3. Напряжение дуги U_D (например, по характеристикам источников из первой работы).
4. Поперечное сечение валика наплавленного металла S_H (по формулам расчета площадей плоских геометрических фигур).
5. Примерную долю основного металла θ в шве (например, по таблице 8; Л2) и его поперечное сечение

$$S_{\text{пр}} = \frac{\theta}{1 - \theta} \cdot S_H \text{ м}^2.$$

6. Количество наплавленного металла

$$G_H = \rho_H \cdot S_H \cdot L \text{ кг},$$

где ρ_H - плотность наплавленного металла в кг/м³;

S_H - площадь поперечного сечения наплавленного металла в м²;

L - длина сварного шва в м.

7. Количество проплавленного металла

$$G_{\text{пр}} = \rho_{\text{пр}} S_H \cdot \frac{\theta}{1 - \theta} \cdot L \text{ кг}.$$

8. Расход электродного стержня (проволоки)

$$G_{\text{см}} = \frac{G_H}{\alpha_3} = \lambda \frac{G_H}{1 - \psi} \text{ кг},$$

где G_H - количество металла в кг, которое необходимо наплавить для получения шва заданного сечения;

$\frac{1 - \psi}{\lambda} = \alpha_3$ - коэффициент использования электродного стержня;

ψ - коэффициент потерь;

λ - отношение длины электрода к длине использованной

(расплавленной) его части ($\lambda = 1,1-1,25$ в зависимости от длины электрода, например, по таблице II;Л2).

9. Расход покрытых электродов

$$G_{\text{ЭП}} = G_{\text{СМ}}(I + K_I) = G_{\text{СМ}}(I + 0,9K) = \\ = (I + K_I) \frac{\lambda G_H}{I - \psi} = (I + 0,9K) \frac{\lambda G_H}{I - \psi} \quad \text{кг.}$$

10. Расход электроэнергии

$$A = \beta \frac{W_H \cdot G_H}{\eta_{\text{СУ}}} \quad \text{Дж,}$$

где G_H - количество наплавленного металла в кг, которое необходимо наплавить для получения шва заданного сечения;

W_H - удельный расход электроэнергии на наплавление, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$;

$\eta_{\text{СУ}}$ - к.п.д. сварочной установки, значения которого:

0,8 - для сварочного трансформатора, 0,5 - для сварочных однопостовых аппаратов постоянного тока; 0,4 - для сварочных многопостовых аппаратов постоянного тока (например, таблица I4;Л2);

β - коэффициент, учитывающий относительное увеличение удельного расхода электроэнергии в связи с потерями энергии при холостом ходе сварочной установки; принимается равным 1,0 для сварочных трансформаторов мощностью 3,5 - 10 квт и 1,05 для сварочных агрегатов постоянного тока. Его можно рассчитать по формуле:

$$\beta = 1 + \left(\frac{I - K_{\text{П}}}{K_{\text{П}}} \right) \eta_{\text{СУ}} \frac{N_0}{U_{\text{Д}} I_{\text{Д}}},$$

где $K_{\text{П}}$ - коэффициент использования сварочного поста (в лучшем случае его значение 0,85 - 0,9);

N_0 - мощность холостого хода сварочного аппарата в вт (для трансформаторов $N_0 = 250$ вт и для однопосто-

вых аппаратов постоянного тока $N_0=2500$ вт при мощности меньше 10 квт).

О т ч е т д о л ж е н с о д е р ж а т ь :

- 1) краткое описание хода работы;
- 2) таблицу с данными измерений;
- 3) расчет технологических коэффициентов сварки и таблицу с результатами их расчета и сравнения с литературными данными;
- 4) решение задачи;
- 5) выводы.

Л и т е р а т у р а

1. Справочник по сварке, т.1. Под, ред. Е.В.Соколова. М., Машгиз, 1960.
2. Справочник по сварке, т.2. Под ред. Е.В.Соколова. М., Машгиз, 1962.
3. Демянцевич В.П., Думов С.И. Технология дуговой сварки. М.-Л., Машгиз, 1959.
4. Рыбаков В.И., Воцанов К.П. Технология ручной дуговой сварки. М., Машгиз, 1953.
5. Бондин И.Н. Справочник сварщика. М.-Л., Машгиз, 1959.

В о п р о с ы д л я с а м о п р о в е р к и

1. Что называется коэффициентом расплавления?
2. Какаѣ размерность у коэффициента расплавления?
3. Какие величины надо определить (измерить) в ходе работы для вычисления коэффициента расплавления?
4. От каких факторов зависит коэффициент расплавления?

5. Что называется коэффициентом наплавки?
6. Какая размерность у коэффициента наплавки?
7. Какие величины надо определить в ходе работы для вычисления коэффициента наплавки?
8. От каких факторов зависит коэффициент наплавки?
9. Какой коэффициент характеризует производительность сварки?
10. Что характеризует коэффициент потерь?
11. Какие виды потерь металла имеют место при сварке?
12. Какие факторы определяют выбор диаметра электродного стержня?
13. Какие факторы определяют выбор значения сварочного тока?
14. Что показывает коэффициент (массы) покрытия электрода?
15. Какое отношение выражает коэффициент шлакообразования (выхода шлака)?
16. Какие факторы определяют удельный расход электроэнергии на расплавление металла при сварке?
17. Какая размерность у удельного расхода электроэнергии при сварке?
18. Какой удельный расход электроэнергии больше — на расплавление или на наплавку?
19. Что называется прямой полярностью при дуговой сварке?
20. Что называется обратной полярностью при дуговой сварке?
21. Какие преимущества имеет сварка на постоянном токе?
22. Какие преимущества у переменного тока при дуговой сварке?
23. Что называют параметрами ручной дуговой сварки?

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ
ДУГОВОЙ СВАРКЕ

Т е м а. Сварочные напряжения и деформации

Ц е л ь р а б о т ы. Ознакомление с деформированием стальной пластинки при наплавке валика на ее кромку и измерение этих деформаций.

А. В в е д е н и е

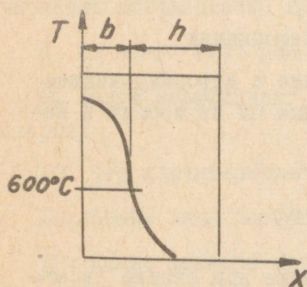
В связи с местным характером нагрева при сварке всегда возникают остаточные напряжения и деформации.

Остановимся на механизме возникновения деформаций и напряжений и посмотрим, в каком направлении надо в данном случае ожидать искривления пластинки-образца на основе теоретических рассуждений.

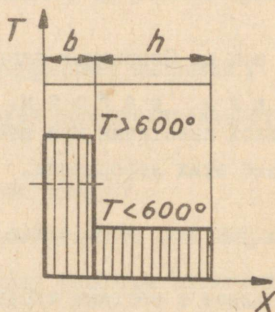
Для лучшего понимания этого механизма сделаем некоторые допущения, не влияющие на окончательные результаты.

Во-первых, заменяем действительное (почти экспоненциальное) распределение температуры (изображенное кривой на фиг.7) в каком-нибудь поперечном сечении образца после установления стационарного теплового состояния ступенчатым распределением (фиг.8). Тогда образец будет условно разделен на две полосы: шириной b , где температура $\geq 600^{\circ}\text{C}$, и шириной h , где температура $< 600^{\circ}\text{C}$ (по принятым нами упрощениям на ширине h температура равняется комнатной). Такое распределение температуры принято на основании кривой зависимости предела текучести стали от температуры (фиг.9), откуда видно, что, начиная с 600°C и выше, сопротивление стали деформированию настолько понижается, что сталь можно считать совершенно пластичной. Таким образом,

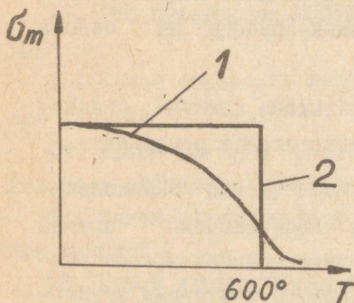
мы условно разделяем пластинку на две части. Одна часть (I) проходит в процессе сварки через состояние пластичности, вторая (II) — в течение всего процесса остается в упругом состоянии (фиг.10).



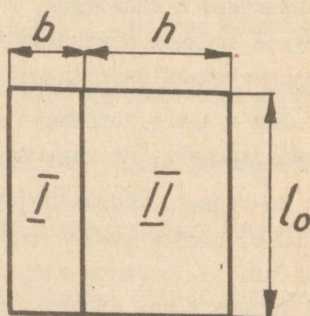
Фиг.7. Действительное распределение температуры по ширине пластинки.



Фиг.8. Упрощенное распределение температуры по ширине пластинки.



Фиг.9. Зависимость предела текучести стали от температуры: 1-истинная, 2-упрощенная.

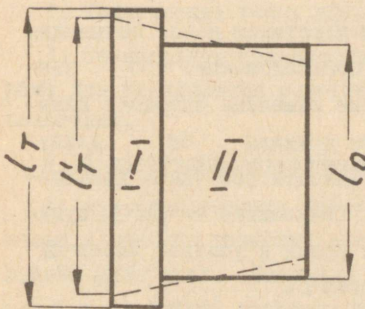


Фиг.10. Условное деление пластинки на совершенно пластическую (I) и на совершенно упругую (II) части.

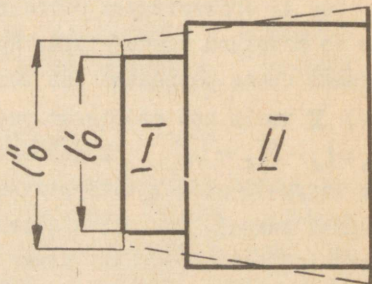
Во-вторых, исследуем, что происходит с пластинкой при наплавке валика на ее кромку (фиг.11). Если мысленно разрезать пластинку на две части, то первая (левая) имела бы новую длину l_T , которая связана с исходной длиной пластинки формулой:

$$l_T = l_0 [1 + \beta(T - T_0)] ,$$

где l_0 - исходная длина пластинки при $T = T_0$.

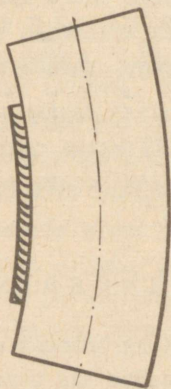


Фиг.11. Схема поведения пластинки при нагревании.



Фиг.12. Схема поведения пластинки при остывании.

Наплавленный металл



Фиг.13. Искривление пластинки при наплавке валика на ее кромку.

Длина второй (правой) части не изменится. В действительности I и II части связаны между собой, и поэтому часть II препятствует удлинению I части и последняя принимает ка-

кую-то промежуточную длину (действительное положение показано на фиг. II пунктирной линией). Величина $l_T - l_T'$ соответствует пластической деформации, которую принимает I часть в процессе нагрева. Следовательно, при нагреве часть I находится под действием сжимающих, а часть II - под действием растягивающих напряжений.

Фиг. I2 соответствует состоянию пластинки после остывания ее до исходной температуры. При предположении, что пластинка опять разрезана (на рисунке отмечена сплошной линией) I часть при свободной усадке приняла бы длину $l_0' = l_0 - (l_T - l_T')$. В действительности обе части принимают какую-то промежуточную длину, показанную на фиг. I2 пунктирной линией, так как пластинка целая и упругая часть II препятствует свободной усадке части I.

Таким образом, после остывания в части I останутся растягивающие и в части II - сжимающие напряжения (вернее, в большой левой области части II, так как правые волокна, как показывает наш опыт, остаются также растянутыми). Так как правые волокна остаются в течение всего процесса в упругом состоянии, можем рассчитать растягивающие напряжения в них по закону Гука, принимая за основу данные нашего опыта.

На основании изложенного, после сварки пластинка принимает форму, показанную на Фиг. I3 (кроме описанных факторов этому способствует еще продольная усадка наплавленного металла).

Б. Экспериментальная часть

З а д а н и е. Измерить длины волокон и прогиб стальной пластинки перед и после сварки для определения ее деформации в результате сварки. Одновременно фиксируем режим сварки для расчета деформаций.

Оборудование, приспособления и материалы:

1. Сварочный пост постоянного (переменного) сварочного тока с регистрирующими приборами (амперметром, вольтметром, секундомером) и необходимыми инструментами.

2. Технические весы, штангенциркуль и линейка.

3. Специальные приспособления, снабженные индикаторами для определения изменения длины волокон и прогиба пластинки.

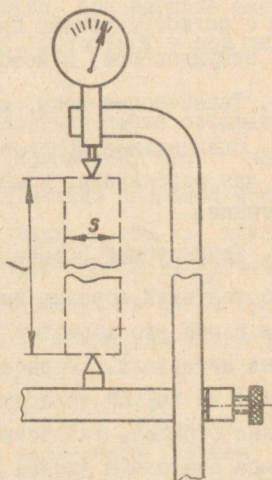
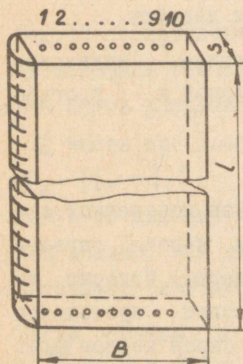
4. Исследуемый образец-пластинка.

Исследуемый образец имеет прямоугольное поперечное сечение, и обе его торцовые грани накернены через определенные интервалы. Керновые отверстия (керны) попарно на одной и на другой торцовых гранях определяют продольное волокно образца. Расстояние между одной парой кернов вдоль образца считается длиной данного волокна и ее изменение в процессе сварки мы исследуем при помощи соответствующего приспособления, снабженного индикатором.

Ход работы. Определяем исходные размеры пластинки: длину, ширину и толщину (фиг.14). Затем определяем исходные длины волокон. Так как индикатор не позволяет определить абсолютного размера, а определяет только отклонение от определенного исходного положения, то необходимо выбрать какой-то базисный размер. Самым удобным является в этом смысле длина первого волокна. Установим пластинку кернами по первому волокну в приспособление (фиг.15) и фиксируем расположение шкалы специальным винтом. В дальнейшем ходе работы этого расположения шкалы не изменять.

Длины всех остальных волокон мы теперь будем сравнивать только с длиной первого волокна как с базисом. Отклонения могут быть положительными (измеряемое волокно длиннее) или отрицательными (измеряемое волокно короче ба-

зисного). Для увеличения точности результатов измерения каждое измерение надо повторить три раза и брать из них арифметическое среднее.

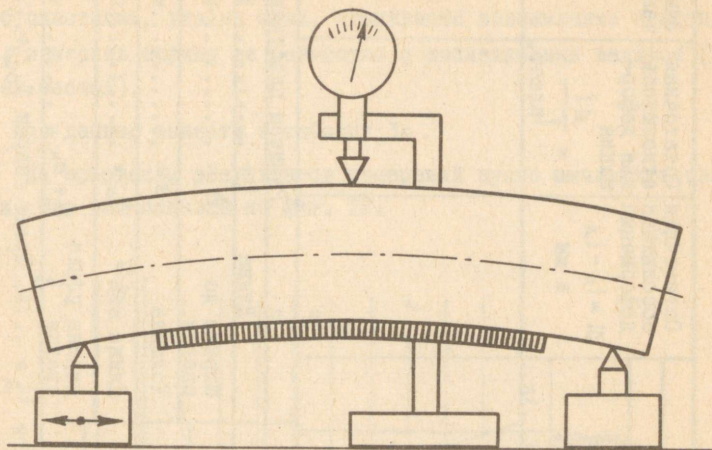


Фиг. 14. Общий вид образца-пластинки.

Фиг 15. Схема измерения длин волокон в измерительном приспособлении.

Дальше измеряем прогиб пластинки в соответствующем приспособлении, как показано на фиг. 16. Прогиб пластинки из-за процесса сварки получается как разность показаний индикатора до и после сварки. Индикатор приспособления (фиг. 16) опять не покажет действительного прогиба, а только высоту средней точки кромки, противоположащей свариваемой, относительно своего нулевого уровня. При вычитании последний исключается. Это измерение нужно также повторить три раза.

Перед сваркой надо произвести еще взвешивание образца для установления после сварки количества наплавленного на пластинку металла. Все данные внести в таблицу 3а.



Фиг.16. Измерение прогиба пластинки.

Грубо можно установить прогиб пластинки следующим образом. Перед сваркой проверяют ровность грани, противоположащей к свариваемой, при помощи обычной линейки и следят за просветом между линейкой и гранью образца. По изменению просвета после сварки можно судить о направлении коробления образца после сварки.

После сварки (сварка осуществляется учебным мастером) и охлаждения образца произвести повторное измерение длины волокон относительно исходного базиса. Для уменьшения погрешностей измерения необходимо следить за тем, чтобы образец-пластинка находилась в приспособлении точно также, как и при измерении перед сваркой и повторить измерение длины каждого волокна три раза.

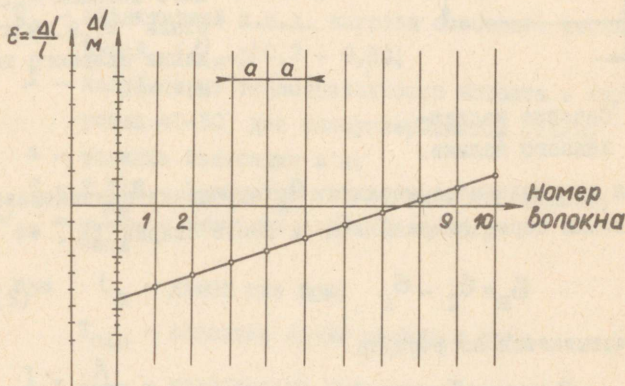
Во время сварки фиксировать (отсчитывать) по амперметру и вольтметру средние значения сварочного тока I_d и напряжения дуги U_d (как среднее ряда показаний) и по секундо-

№ во-лок-на	Длина волокна относительно базиса				Остаточная деформация				Остаточная относительная деформация $\epsilon = \frac{\Delta l}{l_{\text{пласт.}}}$	Замечания
	До сварки		После сварки		До сварки		После сварки			
	Показания индикатора в делениях шкалы в мм		Показания индикатора в делениях шкалы в мм		До сварки		После сварки			
	α_1	α_2	α_3	α_4	α_1	α_2	α_3	α_4	l_1	
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
Масса пластинок					Прогиб пластинок					Размеры пластинок
До сварки $G_1 = \dots\dots\dots$ кг					До сварки $f_1 = \dots\dots\dots$ мм					Длина $l = \dots\dots\dots$ мм
После сварки $G_2 = \dots\dots\dots$ кг					После сварки $f_2 = \dots\dots\dots$ мм					Ширина до сварки $b = \dots\dots\dots$ мм
Масса наплавленного металла $G_H = G_2 - G_1 = \dots\dots\dots$ кг										Толщина $s = \dots\dots\dots$ мм
Прогиб пластинок из-за сварки $f = f_2 - f_1 = \dots\dots\dots$ мм										Длина шва $l_w = \dots\dots\dots$ мм
										Ширина после сварки $b + b_H = \dots\dots\dots$ мм
Режим сварки: Сварочный ток $I_D = \dots\dots$ а. Напряжение дуги $U_D = \dots\dots$ в. Время сварки $T_{\text{осн}} = \dots\dots$ сек.										

меру - время сварки $T_{\text{осн}}$. После сварки также измерить прогиб пластинки, удалив шлак, произвести взвешивание пластинки, измерить ширину ее совместно с наплавленным валиком (в трех местах).

Все данные занести в таблицу 3а.

На основании результатов измерений нужно вычертить график. Его вид показан на фиг. 17.



Фиг.17. График остаточных продольных деформаций пластинки при наплавке валика на ее кромку.

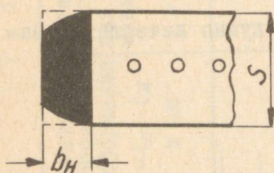
График должен иметь вид прямой, так как она представляет расположение торца пластинки после сварки, который как и остальные поперечные сечения пластинки не может искривляться, ввиду сравнительно большой толщины пластинки.

В. Расчетная часть

З а д а н и е: Произвести расчетную проверку измеренных деформаций пластинки образца на базе данных о режиме сварки.

Определяем ширину зоны направленного металла b_H (как показано на фиг.18) по формуле

$$b_H = \frac{G_H}{\rho l_{\text{ш}} \cdot s} \quad \text{м}, \quad (1)$$



Фиг.18. Сечение наплавленного валика.

где G_H — масса наплавленного металла в кг,
 ρ — плотность наплавленного металла (для стали $= 7,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$);
 $l_{\text{ш}}$ — длина сварного шва в м.

Масса наплавленного металла G_H определяется взвешиванием пластинки перед сваркой G_1 и после сварки G_2 .

$$G_H = G_2 - G_1 \quad \text{кг} \quad (2)$$

или рассчитывается по формуле

$$G_H = \alpha_H I_{\text{д}} T_{\text{осн}} \quad \text{кг}; \quad (3)$$

где α_H — коэффициент наплавки использованного электрода в $\frac{\text{кг}}{\text{а} \cdot \text{сек}}$ (берется из справочника или из лабораторной работы №2 по сварке);

$I_{\text{д}}$ — среднее значение сварочного тока в а;

$T_{\text{осн}}$ — основное время сварки в сек.

Проверкой является сравнение с данными измерения ширины пластинки перед и после сварки.

Определяем ширину зоны основного металла b' , считая от кромки пластинки, в пределах которой температура выше 600°C .

Для этого подставим $T = 600^\circ\text{C}$ в формулу

$$T = \frac{q_{\text{и}}}{2\pi \lambda s} \cdot e^{-\frac{Vcb}{2\lambda t} \cdot x} \quad (4)$$

и выражаем из нее $x = b'$

В выражении (4)

$$q_{и} = U_{д} I_{д} \eta_{и} \text{ вт,} \quad (5)$$

где $q_{и}$ - эффективная мощность дуги;
 $U_{д}$ - напряжение дуги в в;
 $I_{д}$ - сварочный ток в а;
 $\eta_{и}$ - эффективный к.п.д. нагрева основного металла дугой ($\eta_{и} = 0,7 - 0,8$);
 λ - коэффициент теплопроводности металла в вт/(м·град) равен 40-50 для малоуглеродистой стали;
 s - толщина пластинки в м;
 $e = 2,718$ - основание натуральных логарифмов;
 $v_{св} = \frac{l_{ш}}{T_{осн}}$ - скорость сварки в м/сек;

где $l_{ш}$ - длина шва в м;
 $T_{осн}$ - основное время сварки в сек;

$\lambda_t = \frac{\lambda}{c_p \cdot \rho}$ - коэффициент температуропроводности металла в м²/сек - равен (0,07 - 0,1) 10⁻⁴ для малоуглеродистой стали;

c_p - теплоёмкость металла в дж/(кг·град) равен 380-460 для малоуглеродистой стали;

ρ - плотность металла в кг/м³.

Общая ширина зоны, в пределах которой температура во время сварки выше 600°,

$$b = b_{н} + b' \text{ м.} \quad (6)$$

Ширина зоны пластинки, в пределах которой T ниже 600°C, будет

$$h = B - b' \approx B.$$

Сила, с которой зона I пластинки шириной b при T выше 600°C действует на участок с шириной h , выражается

$$F = \sigma_T \cdot b \cdot s \text{ н,} \quad (7)$$

где $\sigma_T = (2 + 2,4)10^8 \text{ н/м}^2$ предел текучести малоуглеродистой стали.

При действии внецентровой осевой силы F , приложенной на расстоянии e' (эксцентриситет) от главной центральной оси x сечения пластинки, нормальное напряжение в волокне на расстоянии z от той же оси будет

$$\sigma = -\frac{F}{S} - \frac{F \cdot e' \cdot z}{I_x} \quad \text{н/м}^2, \quad (8)$$

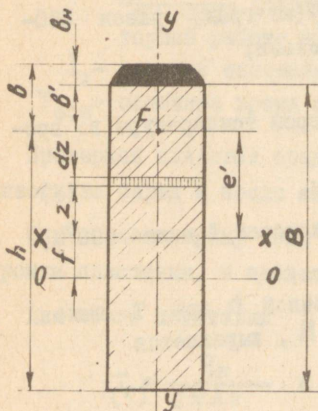
(знак "минус" означает сжимающее напряжение),

где $I_x = \frac{B^3 \cdot s}{12} \text{ м}^4$ - момент инерции сечения пластинки относительно оси x (фиг.19).

$$e' = \frac{B}{2} - b'. \quad (9)$$

Подставляя значения I_x , e' , z , F и S (площадь сечения пластинки) в формулу (8), получим

$$\sigma = -\frac{\sigma_T \cdot b}{B} \left[1 + \frac{12z \left(\frac{B}{2} - b' \right)}{B^2} \right] \quad \text{н/м}^2. \quad (10)$$



Фиг.19. Элементы сечения рассматриваемой пластинки:

- OO - нейтральная ось;
- XX - главная центральная ось;
- F - след линии действия усилия F

Относительное упругое удлинение волокна определяется формулой

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}, \quad (II)$$

где $E = (2 + 2,1)10^{11}$ н/м².

Тогда, подставляя выражение (10) в выражение (II), получим

$$\varepsilon = - \frac{\sigma_T \cdot b}{B \cdot E} \left[I + I_2 \frac{z \left(\frac{B}{2} - b' \right)^2}{B^2} \right]. \quad (I2)$$

На оси пластинки (примерно пятое волокно) $z = 0$ и

$$\varepsilon_5 = - \frac{\sigma_T \cdot b}{B \cdot E}, \quad (I3)$$

у левого края пластинки (первое волокно) $z = \frac{B}{2} - b'$ и

$$\varepsilon_1 = - \frac{\sigma_T \cdot b}{B \cdot E} \left[I + I_2 \frac{\left(\frac{B}{2} - b' \right)^2}{B^2} \right] \approx - 4 \frac{\sigma_T b}{B E}, \quad (I4)$$

а у правого края (десятое волокно) пластинки

$$z = - \left(\frac{B}{2} - b' \right) \text{ и}$$

$$\varepsilon_{10} = - \frac{\sigma_T \cdot b}{B \cdot E} \left[I - I_2 \frac{\left(\frac{B}{2} - b' \right)^2}{B^2} \right] \approx 2 \frac{\sigma_T \cdot b}{B \cdot E}. \quad (I5)$$

На фиг.20. приведена кривая зависимости относительного удлинения центральной оси пластинки от отношения $\frac{q_n}{S}$, где

$$q_n = \frac{U_0 I_0 \eta_{II} T_{осн}}{l_{ш}} \frac{dx}{m} \quad (I6)$$

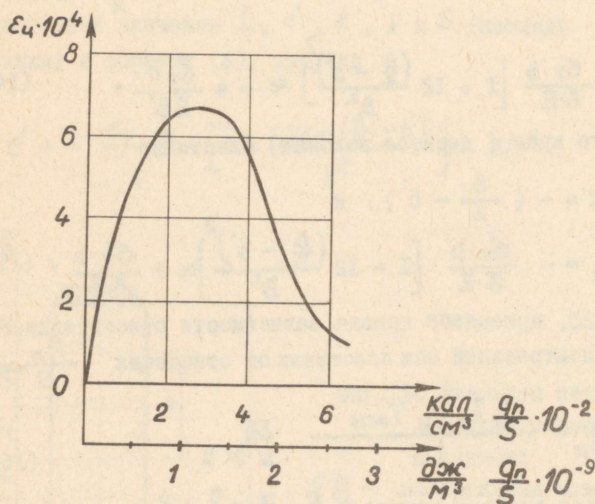
есть погонная энергия сварки и $S = B \cdot s$ (м²) - площадь поперечного сечения пластинки.

Принимая полученное из опыта удлинение пластинки за правильное, следует найти процент отклонения значений удлине-

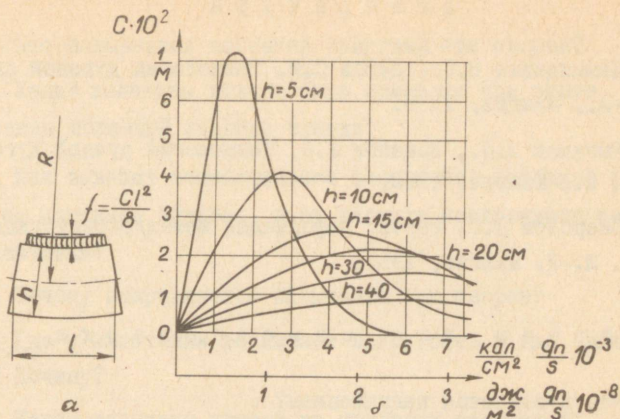
ний по формуле (13) и полученного по кривой фиг.20. Результаты занести в таблицу 36.

Т а б л и ц а 36

Измеренное	Значения ϵ_s			
	Расчитанное по формуле (13)		Определенное по кривой на фиг.20	
	ϵ_p	Отклонение, % $\frac{\epsilon_p - \epsilon_{и}}{\epsilon_{и}} 100$	ϵ_k	Отклонение, % $\frac{\epsilon_k - \epsilon_{и}}{\epsilon_{и}} 100$
$\epsilon_{и}$				



Фиг.20. Зависимость относительного укорочения оси пластинки от погонной энергии и размеров поперечного сечения пластинки.



Фиг.21. Зависимость остаточной кривизны прямоугольных полос разной ширины от режима сварки:

а - вид полосы с наплавкой после охлаждения, б - характер изменения кривизны с изменением погонной энергии.

П. По измеренному прогибу пластинки f рассчитать её кривизну при помощи формулы

$$C = \frac{8f}{l^2} \cdot \frac{1}{M}. \quad (17)$$

Произвести сравнение найденного значения кривизны со значением, полученным по кривым на фиг.21, где по оси абсцисс отложены значения отношения погонной энергии q_n к толщине пластинки S .

Отчет должен содержать:

- 1) краткое описание опыта,
- 2) таблицу данных замеров,
- 3) график продольных остаточных деформаций,
- 4) расчеты относительного удлинения и прогиба и сравнение их со значениями, полученными с помощью графиков (фиг.20 и 21).
- 5) выводы.

Л и т е р а т у р а

1. Демянцевич В.П., Думов С.И. Технология дуговой сварки. М.-Л., Машгиз, 1959.
2. Рыбаков В.И., Воцанов К.П. Технология ручной дуговой сварки. М., Машгиз, 1958.
3. Окерблом Н.С. Расчет деформаций металлоконструкций при сварке. М.-Л. Машгиз, 1955.

В о п р о с ы д л я с а м о п р о в е р к и

1. Что называется напряжением?
2. Что называется деформацией?
3. Что называется главным напряжением?
4. Какое напряжение называется рабочим?
5. Что называется сварочным напряжением?
6. Почему нас интересует ширина зоны металла, где температура превышает $+600^{\circ}\text{C}$?
7. Начертите кривую изменения температуры при удалении от оси шва?
8. Из каких зон состоит полоса, где температура превышает 600°C ?
9. Что называется модулем упругости?
10. Какое значение имеет модуль упругости при расчете сварочных напряжений и деформаций?
11. Напишите закон Гука.
12. Что называется пределом пропорциональности?
13. Что называется пределом текучести?
14. Как зависит предел текучести от температуры?
15. Начертите зависимость предела текучести от температуры.

16. Что называется погонной энергией при сварке?
17. Какие величины должны быть измерены при опыте для вычисления погонной энергии сварки?
18. Как зависит относительное сокращение (усадка) пластины от погонной энергии и от площади поперечного сечения пластинки?
19. Почему искривляется пластинка при сварке?
20. Где у пластинки возникает вогнутость и где выпуклость? Почему?
21. Какие величины влияют на кривизну пластинки?
22. Что называется моментом инерции сечения пластинки относительно некоторой оси?

Лабораторная работа № 4

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ГАЗОВОЙ СВАРКИ

Т е м а. Оборудование для газовой сварки

Ц е л ь р а б о т ы: Усвоение принципов действия и конструкции оборудования газовой сварки.

А. В в е д е н и е

1. Назначение газовой сварки

Газовая сварка относится к виду сварки плавлением. Сварочный и присадочный металлы расплавляются с помощью тепла пламени, получающегося при сгорании какого-либо горючего газа. Температура газосварочного пламени ниже температуры электрической дуги. Поэтому для расплавления металла газосварочное пламя необходимо задерживать на одном

месте более длительное время чем дугу. Это способствует увеличению зоны термического влияния при газовой сварке. При газовой сварке стальных изделий большой толщины резко падает производительность. Поэтому газовую сварку целесообразно применять для изделий толщиной до 5 мм.

В промышленности газовая сварка нашла широкое применение для сварки стальных изделий толщиной 0,5 – 3 мм, легкоплавких цветных металлов (меди, латуни, бронзы, свинца), а также при ремонтных работах (исправление дефектов в чугунных и бронзовых отливках).

П. Газы, применяемые при сварке.

Высокая температура, необходимая для расплавления металла при газовой сварке, достигается путем сжигания горючего газа в струе кислорода. В качестве горючих газов применяются: ацетилен (C_2H_2), водород (H_2), нефтяной газ, природный газ (метан), коксовый газ и ряд других. Наиболее пригоден для сварки ацетилен, обладающий следующими преимуществами: ацетилен дает при сгорании наивысшую температуру пламени ($3100-3400^{\circ}C$), расход ацетилена значительно меньше, чем других горючих газов, также меньше расход кислорода, производительность ацетиленовой сварки выше (в 1,5–2 раза по сравнению с водородной сваркой).

Недостаток ацетилена – большая взрывоопасность. Взрыв ацетилена может произойти:

1) при одновременном резком повышении давления до 2 ати и температуры до $450-500^{\circ}C$;

2) в смеси с кислородом и воздухом при наличии ацетилена в смеси более 2,2 по объему;

3) при соприкосновении с медью и с серебром образуются – ацетиленистая медь и ацетиленистое серебро, которые взрываются при нагревании или ударах.

III. Оборудование для ацетиленовой сварки

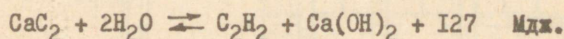
Для сварки ацетиленом необходимо иметь:

- а) генератор для получения ацетилена или баллон, наполненный ацетиленом;
- б) кислородные баллоны;
- в) редукторы для понижения давления кислорода и ацетилена (в случае получения последнего на рабочем посту из баллона);
- г) резиновые шланги для подвода ацетилена и кислорода к горелке;
- д) набор горелок.

а. Ацетиленовые генераторы

Для получения ацетилена из карбида кальция непосредственно на месте сварки применяются специальные аппараты, называемые ацетиленовыми генераторами.

В генераторах карбид кальция CaC_2 вступает в реакцию с водой, в результате чего получается газообразный ацетилен и гашеная известь:



Средний выход ацетилена на 1 кг технического карбида составляет 250–300 л. Чем мельче размер зерна карбида, тем больше скорость получения ацетилена.

Карбид поставляется в стальных барабанах весом 50–130 кг. Открывать барабаны допускается лишь инструментом, не вызывающим искры.

Ацетиленовые генераторы по способу взаимодействия карбида кальция с водой делятся на три основные системы, характеризующиеся устройством газообразователя.

1. Система "карбид в воду" (фиг.22а), при которой карбид кальция периодически, отдельными порциями забрасывается в большой объем воды. Эти генераторы дают наибольший выход (около 95%) хорошо охлажденного и освобожденного от примесей ацетилена.

2. Система "вода на карбид" (фиг.22б), при которой карбид закладывается в специальные зарядные ящики и реторты, куда периодически подается вода для разложения карбида. Реторта охлаждается водой. Подобные генераторы имеют более низкий выход ацетилена из карбида (85-90%), так как зерна карбида обволакиваются илом, мешающим полному разложению карбида кальция.

Однако благодаря простоте конструкции эти генераторы имеют наибольшее распространение.

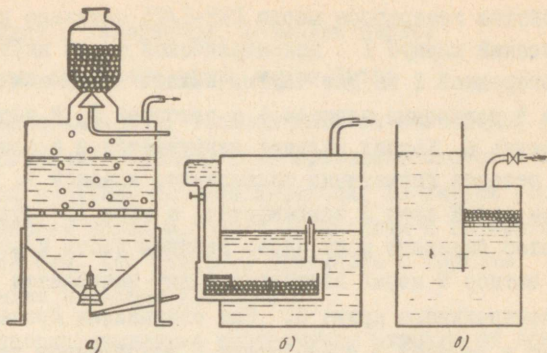
В СССР генераторы данного типа выпускаются нескольких марок, в большинстве переносные, небольшой производительности (от 1 до 3 м³/час).

3. Контактная система (фиг.22,в), при которой карбид кальция и вода периодически приводятся в соприкосновение и вновь разъединяются; в зависимости от расхода ацетилена в генераторе. Такие генераторы имеют низкий коэффициент разложения карбида, вследствие частого недостатка воды ацетилен перегревается.

Выделяющийся в генераторе ацетилен находится в нем под давлением. По величине давления генераторы разделяются на три группы:

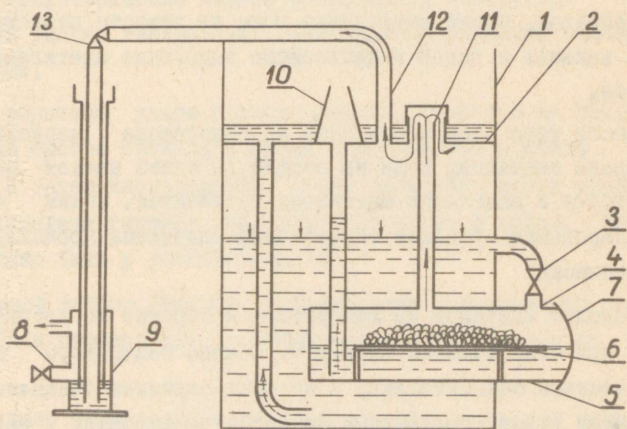
низкого давления	- до 0,1 ати;
среднего давления	- от 0,1 до 1,5 ати;
высокого давления	- свыше 1,5 ати.

Генераторы высокого давления взрывоопасны, поэтому в промышленности не применяются. Наибольшее распространение имеют генераторы низкого и среднего давления. Обычно эти генераторы переносного типа, небольших габаритов.



Фиг.22. Принципиальные схемы действия ацетиленовых генераторов:

а - "карбид в воду"; б - "вода на карбид"; в - "вытеснения" (контактный).



Фиг.23. Схема генератора ГНВ-1/25.

Устройство генератора марки ГНВ-1/25 показано на фиг. 23. Металлический корпус I цилиндрической формы внутри разделен перегородкой 2 на две части. Нижняя часть соединена через кран 3 резиновым шлангом 4 с ретортой 5, в которую вставлена корзина 6. Карбид кальция загружается в корзину, после чего реторта герметично закрывается крышкой 7. Перед заполнением водой кран 3 закрывается, а кран 13 открывается. В генератор заливают воду через верхнюю часть корпуса. В водяной затвор 9 через верхнюю воронку наливается вода до уровня контрольного крана 8. При открывании крана 3 вода поступает в реторту 5 и реагирует с находящимся там карбидом кальция. Образующийся ацетилен выходит по трубе II, поступает в нижнюю часть корпуса генератора и вытесняет из нее воду в верхнюю часть. Подача воды в реторту прекращается, когда ее уровень опустится ниже крана 3. При повышении давления ацетилена в реторте и генераторе вода из реторты вытесняется в конусообразный сосуд 10, открытый сверху. Таким образом, после вытеснения воды из реторты разложение карбида кальция с водой и дальнейшее выделение ацетилена уменьшаются.

После того как часть газа из генератора израсходуется, давление снизится, вода из сосуда 10 снова начнет поступать в реторту и выделение ацетилена увеличится. Таким образом, регулирование процесса образования ацетилена происходит автоматически.

Выходит ацетилен из генератора к горелке по трубке 12, проходя при этом водяной затвор 9. Обычно генераторы снабжены химическими очистителями, в которых ацетилен очищается от примесей влаги, пылевидных частиц и посторонних газов.

В процессе выполнения газовой сварки возможен обратный удар — явление распространения взрывной волны от горелки к источнику горючего газа. Обратный удар сопровождается звуком-хлопком, а также пламенем, образовавшимся в горелке от воспламенения горючего газа. Если пламя от горелки по

шлангу пойдет к генератору, возможен взрыв.

Причинами обратного удара могут быть:

1) большое давление, большой избыток кислорода, причем скорость сгорания горючего газа превышает скорость истечения газа из горелки, горение переходит во внутрь горелки и по ацетиленовым каналам, затем по шлангам к генератору. Это объясняется тем, что давление ацетилена в горелке значительно меньше давления кислорода;

2) закупорка мундштука наконечника горелки от попадания горячей капли, брызг металла;

3) перегрев наконечника, в результате чего увеличивается выходное отверстие, понижаются давление и скорость течения газовой смеси, при котором взрывается ацетилен внутри горелки.

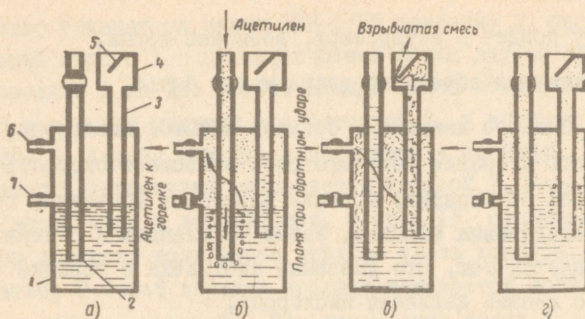
Для предотвращения взрыва ацетилена в генераторе при обратных ударах генераторы обязательно снабжаются водяными затворами.

При обратном ударе горелка гаснет. Несмотря на это, необходимо быстро сначала закрыть ацетиленовый вентиль горелки, а затем кислородный. После обратного удара необходимо охлаждать горелку, опуская ее в ведро с водой, которое должно быть у рабочего места.

Водяной затвор (фиг.24) предохраняет ацетиленовый генератор (или газопровод) от попадания в него пламени от горелки.

В затвор наливается вода до уровня контрольного краника (фиг.24а). Если через краник течет вода, то затвор готов к работе - краник закрывают.

Ацетилен из генератора по газопроводящей трубке попадает в воду и поступает в верхнюю часть затвора (фиг.24б), скапливается там и подается по газоотводящей трубке к горелке.



Фиг. 24. Устройство и работа водяного затвора:

1 - цилиндрический корпус водяного затвора; 2 - газоподводящая трубка; 3 - предохранительная трубка; 4 - воронка; 5 - отбойник; 6 - газотводная трубка; 7 - контрольный краник.

При обратном ударе пламя, пройдя по шлангу, проникает через газотводящую трубку внутрь водяного затвора и воспламеняет ацетилен, находящийся в затворе.

Воспламенившийся ацетилен давит на воду, которая уходит в газоподводящую трубку и этим закрывает доступ пламени к генератору, защищая его от взрыва (рис. 24в). Уровень воды опускается ниже нижнего конца предохранительной трубки, поэтому и продукты горения выбрасываются из затвора наружу через предохранительную трубку и воронку, причем отбойник предохраняет выплескивание воды из затвора.

После устранения обратного удара давление в затворе понижается, вода из газоподводящей трубки опускается в корпус затвора (фиг. 24г).

Таков принцип действия водяных затворов низкого давления. В водяных затворах среднего давления при воспламенении ацетилена вода давит на специальный клапан, который закрывает газоподводящую трубку.

б. Баллоны

Для хранения и транспортировки газов применяются специальные стальные баллоны.

Баллон состоит из корпуса, на нижнюю часть которого насажен башмак. Башмак имеет основание квадратной формы и предназначен для установки баллона в вертикальное положение.

Корпус баллона изготавливается из цельнотянутых труб, имеет выпуклое дно и в верхней части заканчивается сферической утолщенной горловиной, в которую завертывается вентиль. Вентиль кислородного баллона изготовлен из латуни, а вентиль ацетиленового баллона из стали. Через вентиль происходит заполнение баллона газом и его выпуск из баллона.

Газообразный кислород хранят и транспортируют в стальных баллонах типа А (ГОСТ 949-57) под давлением 150 ати. Водяная емкость баллона 40 л, диаметр корпуса 219 мм, высота 1390 мм и толщина стенки 8 мм. Вес баллона 67 кг. Такой баллон содержит при давлении 150 ати $40 \times 150 = 6000$ л (6м^3) кислорода.

Как указывалось, при давлении в две атмосферы ацетилен взрывоопасен. Поэтому в баллонах ацетилен находится в растворенном виде в ацетоне (CH_3COCH_3), который при нормальном давлении и температуре способен растворить в одном объеме 23 объема ацетона. С повышением давления растворимость ацетилена в ацетоне увеличивается. Внутренняя часть ацетиленового баллона заполняется пористой массой, пропитанной ацетоном.

Растворенный ацетилен заполняет капилляры пористой массы, что хорошо защищает баллон от взрыва. В случае взрыва в одном капилляре не будет распространения по другим, так как тепло будет быстро отведено всей пористой массой.

Для транспортировки и хранения ацетилена применяются стальные баллоны типа В (ГОСТ 949-57) под давлением 16 ати. Водяной объем баллона 40 или 50 л, диаметр корпуса 219 мм,

толщина стенки 7 мм. Высота баллонов соответственно 1390 мм и 1700 мм и вес 52 и 64 кг. В зависимости от объема содержание ацетилена в баллоне 4,5 - 6 м³.

Чистота кислорода существенно влияет на процесс сварки и особенно резки. Применяют кислород чистоты 97,5-99,5% (чистота кислорода ниже 92% не допускается).

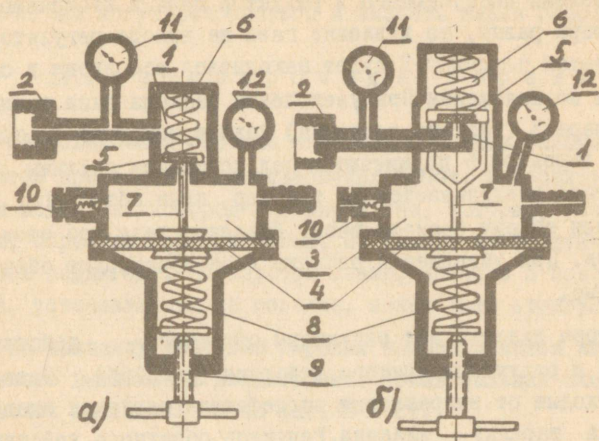
В зависимости от транспортируемого газа баллоны окрашивают в разные цвета с надписью наименования газа: для кислорода - в голубой цвет с надписью черным; для ацетилена - в белый цвет с надписью красным; для углекислоты - в черный цвет с надписью желтым; для аргона - верхняя половина в белый цвет, нижняя - в черный (или весь в кремовый цвет); для водорода - в темно-зеленый с надписью красным, для сжатых газов - заменителей ацетона - в красный с надписью белым.

в. Р е д у к т о р ы

Для понижения давления сжатого газа до рабочего и для стабилизации последнего служат редукторы (фиг.25). Понижение давления происходит вследствие того, что газ поступает из камеры высокого давления в камеру низкого давления, имеющую большой объем по сравнению с первой. Объем газа увеличивается, и его давление понижается. Редукторы бывают одно- и двухступенчатые. В случае большой разности между рабочим давлением и давлением газа в баллоне применяют двухступенчатые редукторы.

Для каждого газа необходим свой редуктор, даже если один и тот же редуктор конструктивно подходит для редуцирования различных газов. Редуктор и баллон для данного газа имеют одинаковый цвет.

Принцип работы редуктора явствует из фиг.25. Газ высокого давления поступает в камеру высокого давления I редуктора через штуцер 2.



Фиг.25. Принципиальная схема работы редуктора:

а - обратного действия (пружинный);

б - прямого действия (пружинный);

1 - камера высокого давления; 2 - штуцер газа высокого давления; 3 - камера низкого давления; 4 - мембрана; 5 - тарелка клапана; 6 - обратная пружина; 7 - штифт; 8 - главная пружина; 9 - регулирующий винт; 10 - предохранительный клапан; 11 - манометр высокого давления; 12 - манометр низкого давления.

В рабочем положении газ дальше не поступает, поскольку проход между камерами высокого и низкого давления закрыт клапаном 5. При ввинчивании регулировочного винта (по часовой стрелке) главная пружина 8 сжимается. Сила нажатия передается мембране 4, штифту 7, и последний поджимает тарелку 5, сжимая при этом обратную пружину 6. Путь газа из камеры высокого давления 1 в камеру низкого давления 3 открыт. При прохождении через отверстие седла редуцирующего клапана давление газа понижается, так как энергия сжатого газа затрачивается на преодоление сопротивлений в клапане. Газ поступает в камеру низкого давления 3 до тех пор, пока давление газа на мембрану не уравновесит усилие сжатия главной пружины.

Если объемы поступающего в редуктор газа и отбираемого из редуктора равны, то давление газа на выходе регулятора не изменяется и тарелка 5 будет находиться все время в одном и том же положении. При увеличении расхода газа давление в камере 3 (низкого давления) падает, мембрана 4 совместно с тарелкой 5 поднимаются под действием пружины 8. Пропуск газа увеличивается до тех пор, пока объем его не будет равен объему расхода газа. Давление газа при этом не изменяется. При уменьшении расхода газа происходит обратное явление.

Редукторы делятся на: редукторы обратного действия (фиг.25,а) и редукторы прямого действия (фиг.25б). Название происходит от направления воздействия давления сжатого газа на тарелку клапана. Редуктор обратного действия обеспечивает более равномерное изменение рабочего давления при уменьшении давления в баллоне.

Г. Шланги

Для подачи газов в горелку служат специальные шланги. Они имеют внутренний и наружный резиновые слои, между которыми для придания шлангу достаточной прочности находятся несколько слоев (или один слой) прокладок из хлопчатобумажной ткани. По ГОСТ 8318-57 выпускают шланги с тканевыми прокладками 6 типов.

При сварке для подачи газов применяют шланги типа Г. Армированные тканью шланги типа Г выпускают с диаметрами 9, 12, 16, 18, 25 мм и больше с рабочим давлением 10 ати. Минимальная длина шланга 5 м. В практике применяют шланги длиной 9 - 10 или 18 - 20 м.

Шланги типа Г имеют пятикратный запас прочности. Испытательное давление ацетиленовых шлангов 5 ати, а для кислородных - 20 ати.

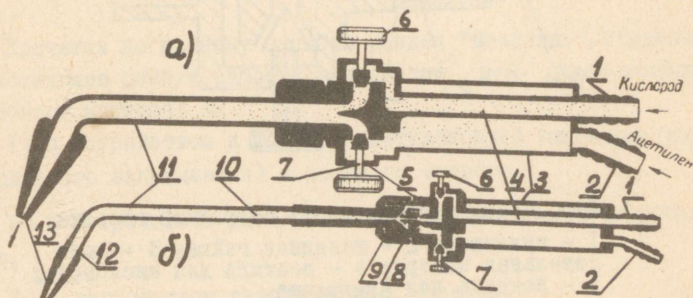
Шланги прикрепляют к штуцерам при помощи особых хомутов. При эксплуатации надо избегать повреждений шлангов,

иначе они могут разорваться и вызвать взрыв газов.

д. Газосварочные горелки

Газосварочная горелка является основным рабочим инструментом при ведении газосварочных работ. В горелку по шлангам подается кислород и горючий газ, которые, перемешиваясь, образуют горючую смесь. На выходе из горелки горючую смесь поджигают. Образуется пламя, которое с помощью крапов, установленных на горелке, может быть отрегулировано.

По принципу действия горелки подразделяются на горелки равного давления и инжекторные. Принципиальные схемы этих горелок представлены на фиг.26 и 27.



Фиг.26. Принципиальная схема устройства сварочной горелки:

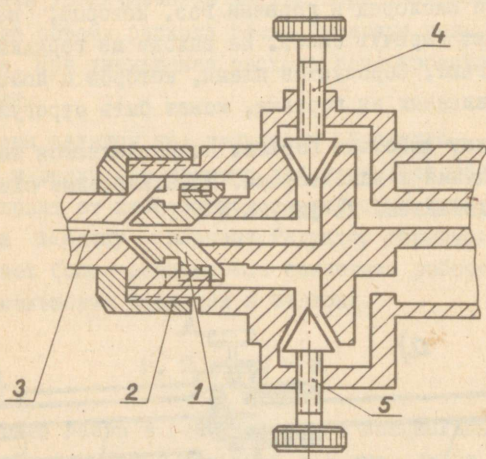
а - равного давления;

б - инжекторной;

I - кислородный ниппель; 2 - ацетиленовый ниппель;
3 - рукоятка; 4 - кислородная трубка; 5 - корпус;
6 - вентиль для кислорода; 7 - вентиль для ацетилена;
8 - инжектор; 9 - накидная гайка; 10 - смешительная камера; II - наконечник; 12 - соединительный ниппель;
13 - мундштук.

Горелки равного давления безинжекторные. В них ацетилен (или другой горючий газ) и кислород поступают при одинаковом давлении 0,5-2,0 ати. Необходимость подавать горючий

газ сравнительно высокого давления ограничивает область их применения. Безинжекторные горелки питаются газом от баллонов (так называемый пост высокого давления). Подобные горелки просты по устройству, обеспечивают постоянство состава горючей смеси.



Фиг.27. Инжекторная часть сварочной горелки:
1 - инжектор; 2 - накидная гайка; 3 - смешительная камера; 4 - вентиль для кислорода;
5 - вентиль для ацетилена.

Инжекторные горелки иначе называются горелками низкого давления (фиг.26б и 27). Их действие основано на инжекции (засасывании) горючего газа кислородом. В смешительную камеру кислород поступает под давлением 1-4 ати и засасывает ацетилен или другой горючий газ, подаваемый при давлении до 0,3 ати. Этот принцип работы горелок самый распространенный.

Такая горелка состоит из двух главных частей: ствола и сменных наконечников. При смене наконечника изменяется мощность горелки, выражаемая расходом ацетилена в литрах в час. Наконечники пронумерованы. Каждому номеру наконечника соот-

ветствует определенная мощность, позволяющая сваривать металл в некотором диапазоне толщин. Горелки, выпускаемые в СССР, позволяют сваривать металл толщиной 0,2-30 мм.

Расход ацетилена составляет 50-2800 л/час, расход кислорода - 50-3100 л/час.

Инжекторные горелки применимы также для постов высокого давления.

При зажигании газа в горелке немного открывают кислородный вентиль, а затем на полный оборот - ацетиленовый. Вытекающую из мундштука смесь зажигают, а пламя регулируют посредством вентиля. Для того, чтобы погасить пламя, сначала перекрывают ацетиленовый вентиль, а затем - кислородный.

Б. Х о д р а б о т ы

Прочитав по данному пособию раздел "Введение", студенты, выполняющие данную работу, знакомятся под руководством учебного мастера:

- 1) с устройством и работой ацетиленового генератора (разбирать его запрещается) и водяного затвора,
- 2) с устройством кислородного и ацетиленового редукторов,
- 3) с устройством газосварочных горелок.

О т ч е т д о л ж е н с о д е р ж а т ь :

- 1) схему ацетиленового генератора с обозначением его основных частей и указанием их назначения;
- 2) схему защиты ацетиленового генератора от обратного удара;
- 3) схему редукционного клапана с обозначением его основных частей и указанием их назначения;
- 4) эскиз разреза газосварочной горелки инжекторного типа с обозначением основных частей.

1. Глиманенко Д.Л., Евсеев Г.Б. Газовая сварка и резка металлов. М., Машгиз, 1954.

В о п р о с ы д л я с а м о п р о в е р к и

1. Какую роль играет при газовой сварке кислород?
2. Какую роль играет горючий газ при газовой сварке?
3. При какой сварке - газовой или дуговой зона термического влияния шире и почему?
4. Для какой толщины материала целесообразно применение газовой сварки?
5. Почему горючий газ сжигают в чистом кислороде, а не в среде воздуха?
6. Какая температура у ацетилено-кислородного пламени?
7. Назовите причины взрыва ацетилена.
8. Напишите реакцию получения карбида кальция.
9. Из чего, в каких устройствах, при каких условиях получается карбид кальция?
10. Каков теоретический выход ацетилена из карбида кальция и каков практический его выход?
11. Напишите реакцию получения ацетилена.
12. Под воздействием чего получается из карбида кальция ацетилен?
13. Опишите принцип действия ацетиленового генератора "вода - на карбид".
14. Опишите принцип действия ацетиленового генератора системы "карбид в воду"
15. Объясните принцип действия ацетиленового генератора контактной системы.

16. Для чего служит водяной затвор?
17. Что содержит очиститель ацетилена?
18. Какие примеси (газы) удаляются из ацетилена в очистителе?
19. Перечислите причины обратного удара.
20. Объясните работу водяного затвора.
21. Почему ацетилен хранят в баллоне в растворенном виде?
22. Какими веществами заполнен ацетиленовый баллон?
23. Под каким давлением находится ацетилен в баллоне?
24. В каком виде находится кислород в баллоне?
25. Какое давление в заполненном кислородом баллоне?
26. Сколько кислорода содержит кислородный баллон с водяной емкостью 40 л.
27. Для чего служит редуктор?
28. Объясните принцип работы редуктора обратного действия.
29. В чем различие в принципах работы редукторов обратного и прямого действия?
30. В чем состоит принцип редуцирования?
31. В каком случае применяют двухступенчатый редуктор?
32. Из каких материалов сделаны шланги?
33. Какие бывают горелки по принципу перемешивания газов?
34. Какие требования предъявляются к сварочной горелке?
35. Каково рабочее давление кислорода?
36. Каково рабочее давление ацетилена?
37. В каких пропорциях подаются ацетилен и кислород в пламя?
38. Как выражается мощность газосварочной горелки?

ПРИЛОЖЕНИЕ

В октябре 1960 года XI Генеральная конференция по мерам и весам приняла Международную систему единиц физических величин (СИ). В сентябре 1961 года эта система утверждена в СССР как Государственный стандарт — ГОСТ 9867—61.

С 1 января 1963 года Международная система единиц физических величин должна применяться в Советском Союзе как предпочтительная во всех областях науки, техники и народного хозяйства.

Так как Международная система единиц имеет очень большое значение для студентов и учащихся технических специальностей, все физические величины выражены или переведены в систему (СИ). Однако, учитывая трудность перехода на новую «систему единиц», в приложении даны соответствующие таблицы соотношений единиц измерения физических величин, подлежащих изменению в Международной системе единиц.

Основными единицами Международной системы единиц (ГОСТ 9867—61) приняты:

Длина	— метр (<i>м</i>).
Масса	— килограмм (<i>кг</i>).
Время	— секунда (<i>сек</i>).
Сила электрического тока	— ампер (<i>а</i>).
Термодинамическая температура	— градус Кельвина ($^{\circ}\text{K}$)*.
Сила света	— свеча (<i>св</i>).

В Международную систему единиц физических величин входят целиком:

а) система МКС (метр, килограмм, секунда) — для механических величин;

б) МКСГ (метр, килограмм, секунда, градус Кельвина) — для молекулярной физики;

в) МКСА (метр, килограмм, секунда, ампер) — для измерения электромагнитных величин и т. д.

* Нуль по шкале Кельвина соответствует $+273^{\circ}\text{C}$ (точно $+273,16^{\circ}\text{C}$).

Существенное отличие системы СИ от системы МКГСС состоит в том, что в системе СИ единица измерения массы — кг принимается за основную единицу, а единица измерения силы — за производную.

За единицу силы в системе СИ (МКС) принимается такая сила, которая массе в 1 кг сообщает ускорение в 1 м/сек. Эта единица называется ньютон и сокращенно обозначается н.

Для перехода от системы МКГСС к системе СИ и обратно следует пользоваться соотношениями:

$$\begin{aligned} \text{Сила:} \quad & 1 \text{ кг} = 9,80665 \text{ н} \approx 10 \text{ н}; \\ & 1 \text{ н} = 0,10197 \text{ кг} \approx 0,1 \text{ кг}. \\ \text{Масса:} \quad & 1 \text{ кг} \cdot \text{сек}^2/\text{м} \approx 981 \approx 10 \text{ кг}; \\ & 1 \text{ кг} \approx 0,1 \text{ кг} \cdot \text{сек}^2/\text{м}. \\ \text{Давление:} \quad & \text{кг}/\text{см}^2 \approx 10 \text{ н}/\text{см}^2 = 10^5 \text{ н}/\text{м}^2; \\ & 1 \text{ н}/\text{см}^2 = 0,1 \text{ кг}/\text{см}^2. \end{aligned}$$

Для измерения давления удобно пользоваться внесистемной единицей бар, равной $10^5 \text{ н}/\text{м}^2$, а при переходе — $1 \text{ кг}/\text{см}^2 = 1 \text{ бар}$.

При переходе от системы МКГСС к системе СИ:

$$\begin{aligned} \text{Работа (энергия):} \quad & 1 \text{ кг} \cdot \text{м} \approx 10 \text{ нм} = 10 \text{ дж}; \\ & 1 \text{ нм} \approx 1 \text{ дж} \approx 0,1 \text{ кг} \cdot \text{м}. \end{aligned}$$

т. е. за единицу работы в системе СИ (МКС) принимается работа силы в один ньютон на пути в один метр. Эта единица работы называется джоуль и обозначается дж или j.

$$\begin{aligned} \text{Мощность:} \quad & 1 \text{ л. с.} = 1 \text{ кг} \cdot \text{м}/\text{сек} = 10 \text{ н} \cdot \text{м}/\text{сек} = 10 \text{ дж}/\text{сек} = 10 \text{ вт}; \\ & 1 \text{ л. с.} = 75 \text{ кг} \cdot \text{м}/\text{сек} = 736 \text{ вт} = 0,736 \text{ квт}; \\ & 1 \text{ квт} = 1000 \text{ дж}/\text{сек} = 1000 \text{ н} \cdot \text{м}/\text{сек} = \\ & \quad \quad \quad = 100 \text{ кг} \cdot \text{м}/\text{сек}. \end{aligned}$$

Сведения о размерности в системе СИ других механических и физических величин, а также обозначения кратных и долевых значений приведены в приложении согласно ГОСТу 7663—55.

Примечание. Во всех случаях, когда не требуется высокой точности расчетов, допускается пользование укрупненными соотношениями.

$$\begin{aligned} \text{Например:} \quad & 1 \text{ кг} = 9,80665 \text{ н} \approx 10 \text{ н}; \\ & 1 \text{ кг} \cdot \text{м} = 9,8 \text{ дж} \approx 10 \text{ дж}; \\ & 1 \text{ т} = 9,8 \cdot 10^3 \text{ н} = 1000 \text{ н и др.} \end{aligned}$$

* ГОСТ 7664—61.

Кратность и дольность	Наименование приставок	Сокращенные обозначения
$1\ 000\ 000\ 000\ 000 = 10^{12}$	тера	<i>T</i>
$1\ 000\ 000\ 000 = 10^9$	гига	<i>G</i>
$1\ 000\ 000 = 10^6$	мега	<i>M</i>
$1\ 000 = 10^3$	кило	<i>k</i>
$100 = 10^2$	гекто	<i>g</i>
$10 = 10^1$	дека	<i>da</i>
$0,1 = 10^{-1}$	деци	<i>d</i>
$0,01 = 10^{-2}$	санти	<i>c</i>
$0,001 = 10^{-3}$	милли	<i>m</i>
$0,000\ 001 = 10^{-6}$	микро	<i>мк</i>
$0,000\ 000\ 001 = 10^{-9}$	нано	<i>n</i>
$0,000\ 000\ 000\ 001 = 10^{-12}$	пико	<i>p</i>

Соотношение между единицами силы

Единицы	Тонна-сила, <i>T</i>	Килограмм-сила, <i>кГ</i>	Грамм-сила, <i>Г</i>	Ньютон, <i>н</i>	Дина, <i>дин</i>
$1\ T$	1	10^3	10^6	$9,8 \cdot 10^3$	$981 \cdot 10^6$
$1\ кГ$	10^{-3}	1	10^3	9,8	$981 \cdot 10^3$
$1\ Г$	10^{-6}	10^{-3}	1	$9,8 \cdot 10^{-3}$	981
$1\ н$	$1,02 \cdot 10^{-4}$	$1,02 \cdot 10^{-1}$	$1,02 \cdot 10^2$	1	10^5
$1\ дин$	$1,02 \cdot 10^{-9}$	$1,02 \cdot 10^{-6}$	$1,02 \cdot 10^{-3}$	10^{-5}	1

Примечание. В отдельных случаях можно применять $1\ T \approx 10^4\ н$; $1\ кГ \approx 10\ н$; $1\ Г \approx 10^{-2}\ н$.

Соотношение между единицами работы и энергии

Единицы	кГ·м	Г·см	дж	эрг	кал	ккал	квт·ч	л·с·ч
1 кГ·м	1	10 ⁵	9,8	9,8 · 10 ⁷	2,343	2,343 · 10 ⁻³	2,724 · 10 ⁻⁶	3,704 · 10 ⁻⁶
1 Г·см	10 ⁻⁵	1	9,8 · 10 ⁻⁸	9,8 · 10 ²	2,343 · 10 ⁻⁶	2,343 · 10 ⁻⁸	2,274 · 10 ⁻¹¹	3,704 · 10 ⁻¹¹
1 дж	1,02 · 10 ⁻¹	1,02 · 10 ⁴	1	10 ⁷	0,239	0,239 · 10 ⁻³	0,278 · 10 ⁻⁶	0,378 · 10 ⁻⁶
1 эрг	1,02 · 10 ⁻⁸	1,02 · 10 ⁻³	10 ⁻⁷	1	0,239 · 10 ⁻⁷	0,239 · 10 ⁻¹⁰	0,278 · 10 ⁻¹³	0,378 · 10 ⁻¹³
1 кал	4,27 · 10 ⁻¹	4,27 · 10 ⁴	4,2	4,2 · 10 ⁷	1	10 ⁻³	1,163 · 10 ⁻⁶	1,581 · 10 ⁻⁶
1 ккал	4,27 · 10 ³	4,27 · 10 ⁷	4,2 · 10 ³	4,2 · 10 ¹⁰	10 ³	1	1,163 · 10 ⁻³	1,581 · 10 ⁻³
1 квт·ч	3,671 · 10 ⁵	3,671 · 10 ¹⁰	3,6 · 10 ⁶	3,6 · 10 ¹³	859,8 · 10 ³	859,8	1	1,36
1 л·с·ч	2,7 · 10 ⁵	2,7 · 10 ¹⁰	2,65 · 10 ⁶	2,65 · 10 ¹³	632,4 · 10 ³	632,4	0,7355	1

Примечание. В отдельных случаях можно принимать: 1 КГМ ≈ 10 дж = 10⁸ эрг; 1 Г·см ≈ 10⁻⁴ дж = 10³ эрг.

Соотношение между единицами мощности

Единицы	кГ·м/сек	Г·см/сек	вт	квт	л·с	ккал/ч	кал/сек	эрг/сек
1 кГ·м/сек	1	10 ⁵	9,8	9,8 · 10 ⁻³	1,333 · 10 ⁻²	8,435	2,343	9,8 · 10 ⁷
1 Г·см/сек	10 ⁻⁵	1	9,8 · 10 ⁻⁶	9,8 · 10 ⁻⁸	1,333 · 10 ⁻⁷	8,435 · 10 ⁻⁵	2,343 · 10 ⁻⁵	9,8 · 10 ²
1 вт	1,02 · 10 ⁻¹	1,02 · 10 ⁴	1	10 ⁻³	1,36 · 10 ⁻³	0,86	0,239	10 ⁷
1 квт	1,02 · 10 ²	1,02 · 10 ⁷	10 ³	1	1,36	0,86 · 10 ³	0,239 · 10 ³	10 ¹⁰
1 л·с	75	75 · 10 ⁵	735,5	735,5 · 10 ⁻³	1	632,4	175,7	735,5 · 10 ⁷
1 ккал/ч	1,185 · 10 ⁻¹	1,185 · 10 ⁴	1,163	1,163 · 10 ⁻³	1,58 · 10 ⁻³	1	0,2778	1,163 · 10 ⁷
1 кал/сек	4,27 · 10 ⁻¹	4,27 · 10 ⁴	4,2	4,2 · 10 ⁻³	5,69 · 10 ⁻³	3,6	1	4,2 · 10 ⁷
1 эрг/сек	1,02 · 10 ⁻⁸	1,02 · 10 ⁻³	10 ⁻⁷	10 ⁻¹⁰	1,36 · 10 ⁻¹⁰	0,86 · 10 ⁻⁷	0,239 · 10 ⁻⁷	1

Примечание. В отдельных случаях можно принимать 1 кГ·м/сек ≈ 10 вт = 10⁻² квт, 1 Г·см/сек ≈ 10⁻⁴ вт = 10⁻⁷ квт.

Соотношение между единицами массовой теплоемкости

Единицы	ккал/кг·град	кал/г·град	дж/кг·град	кдж/кг·град	эрг/г·град
1 ккал/кг·град	1	1	$4,2 \cdot 10^3$	4,2	$4,2 \cdot 10^7$
1 кал/г·град	1	1	$4,2 \cdot 10^3$	4,2	$4,2 \cdot 10^7$
1 дж/кг·град	$0,239 \cdot 10^{-3}$	$0,239 \cdot 10^{-3}$	1	10^{-3}	10^4
1 кдж/кг·град	0,239	0,239	10^3	1	10^7
1 эрг/г·град	$0,239 \cdot 10^{-7}$	$0,239 \cdot 10^{-7}$	10^{-4}	10^{-7}	1

Соотношение между единицами коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи

Единицы	ккал/м ² ·ч·град	кал/см ² ·сек·град	вт/см ² ·град	квт/м ² ·град	эрг/см ² ·сек·град
1 ккал/м ² ·ч·град	1	$2,78 \cdot 10^{-6}$	$1,16 \cdot 10^{-4}$	$1,16 \cdot 10^{-3}$	$1,16 \cdot 10^2$
1 кал/см ² ·сек·град	$3,6 \cdot 10^4$	1	4,2	$4,2 \cdot 10$	$4,2 \cdot 10^8$
1 вт/см ² ·град	$8,6 \cdot 10^3$	0,239	1	10	10^7
1 квт/м ² ·град	$8,6 \cdot 10^2$	$0,239 \cdot 10^{-2}$	10^{-1}	1	10^6
1 эрг/см ² ·сек·град	$8,6 \cdot 10^{-4}$	$0,239 \cdot 10^{-8}$	10^{-7}	10^{-6}	1

Соотношение между единицами удельной энтропии

Единицы	ккал/кг·град	кал/г·град	дж/кг·град	эрг/г·град	кг·м/кг·град
1 ккал/кг·град	1	1	$4,2 \cdot 10^3$	$4,2 \cdot 10^7$	427
1 кал/г·град	1	1	$4,2 \cdot 10^3$	$4,2 \cdot 10^7$	427
1 дж/кг·град	$2,39 \cdot 10^{-4}$	$2,39 \cdot 10^{-4}$	1	10^4	$1,02 \cdot 10^{-1}$
1 эрг/г·град	$2,39 \cdot 10^{-8}$	$2,39 \cdot 10^{-8}$	10^{-4}	1	$1,02 \cdot 10^{-6}$
1 кг·м/кг·град	$2,342 \cdot 10^{-3}$	2,342	9,8	$9,8 \cdot 10^4$	1

Примечание. В отдельных случаях можно принимать: 1 кг·м/кг·град \approx 10 дж/кг·град = 10^8 эрг/г·град.

Соотношение между единицами давления

Единицы	кг/м ³	кг/см ² (ат)	кг/мм ²	н/м ²	дин/см ²	бар	м.м. вод. ст.	м.м. рт. ст.
1 кг/м ³	1	10 ⁻⁴	10 ⁻⁶	9,8	9,8 · 10	9,8 · 10 ⁻⁶	1	735,6 · 10 ⁻⁴
1 кг/см ² (ат)	10 ⁴	1	10 ⁻³	9,8 · 10 ⁴	9,8 · 10 ⁸	9,8 · 10 ⁻¹	10 ⁴	735,6
1 кг/мм ²	10 ⁶	10 ²	1	9,8 · 10 ⁶	9,8 · 10 ¹⁰	9,8 · 10	10 ⁶	735,6 · 10 ²
1 н/м ²	1,02 · 10 ⁻¹	1,02 · 10 ⁻⁵	1,02 · 10 ⁻⁷	1	10	10 ⁻⁶	1,02 · 10 ⁻¹	750 · 10 ⁻⁵
1 дин/см ²	1,02 · 10 ⁻²	1,02 · 10 ⁻⁶	1,02 · 10 ⁻⁸	10 ⁻¹	1	10 ⁻⁶	1,02 · 10 ⁻²	750 · 10 ⁻⁶
1 бар	1,02 · 10 ⁴	1,02 · 10 ⁸	1,02 · 10 ⁻²	10 ⁸	10 ⁶	1	1,02 · 10 ⁴	750
1 м.м. вод. ст.	1	10 ⁻⁴	10 ⁻⁶	9,8	9,8 · 10	9,8 · 10 ⁻⁵	1	735,6 · 10 ⁻⁴
1 м.м. рт. ст.	1,36 · 10	1,36 · 10 ⁻³	1,36 · 10 ⁻⁶	1,333 · 10 ²	1,333 · 10 ⁸	1,333 · 10 ⁻³	1,36 · 10	1

Примечание. В отдельных случаях можно принимать: 1 кг/м² ≈ 10 н/м² = 10² дин/см² = 10⁻⁶ бар; 1 кг/см² (ат) ≈ 10⁸ н/м² = 10⁶ дин/см² = 1 бар; 1 кг/мм² ≈ 10⁷ н/м² = 10⁶ дин/см² = 10² бар.

Соотношение между единицами динамической вязкости

Единицы	кг · сек/м ²	н · сек/м ²	дин · сек/см ² (пз)	кг · ч/м ²	н · ч/м ²
1 кг · сек/м ²	1	9,8	9,8 · 10	2,78 · 10 ⁻⁴	2,73 · 10 ⁻³
1 н · сек/м ²	1,02 · 10 ⁻¹	1	10	2,83 · 10 ⁻⁵	2,78 · 10 ⁻⁴
1 дин · сек/см ² (пз)	1,02 · 10 ⁻²	10 ⁻¹	1	2,83 · 10 ⁻⁶	2,78 · 10 ⁻⁶
1 кг · ч/м ²	3,6 · 10 ³	3,53 · 10 ⁴	3,53 · 10 ⁸	1	9,8
1 н · ч/м ²	367	3,6 · 10 ⁹	3,6 · 10 ⁴	1,02 · 10 ⁻¹	1

Примечание. В отдельных случаях можно принимать 1 кг · сек/м² ≈ 10 н · сек/м²; 1 дин · сек/см² (1 пз) ≈ 10⁻¹ н · сек/м²; 1 кг · ч/м² ≈ 10 н · ч/м².

О Г Л А В Л Е Н И Е

П р е д и с л о в и е	3
Л а б. р а б. № 1. Определение статических характеристик источников сварочного тока.....	6
Л а б. р а б. № 2. Определение технологических показателей (коэффициентов) при ручной дуговой сварке стали.....	25
Л а б. р а б. № 3. Определение остаточных деформаций при дуговой сварке.	39
Л а б. р а б. № 4. Изучение конструкции и принципа действия оборудования для газовой сварки.....	55
П р и л о ж е н и е	72

2-е дополнительное издание

Сдано в печать 13 августа 1969 г.
Бумага 60x84/16. Печ. л. 5,0. Усл.печ. л. 4,65
Тираж 2000. Зак. 315 Ротапринт ТПИ
Таллин, Пикк янг 14
Цена 14 коп.

Цена 14 коп.

XI
1A-18

238