



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ДГТУ)

Факультет «Технология машиностроения»

Кафедра «Машины и автоматизация сварочного производства»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторной работе по дисциплине
«Теория сварочных процессов»

Изучение дугового разряда между угольными электродами

Ростов-на-Дону, 2022

I. Цель работы

1. Знакомство с дуговым разрядом, его строением.
2. Овладение методикой снятия статических характеристик электрической дуги.

II. Общие положения

Понятие «дуговой разряд» охватывает все виды электрических разрядов, которые характеризуются большой плотностью тока и малым падением потенциала, не превосходящим нескольких десятков вольт.

Дуговые разряды настолько разнообразны, что их трудно включить в общую классификацию. Их классифицируют обычно по различным признакам.

По явлениям на катоде разряды делят на дуги с холодным катодом и горячим катодом.

При холодном катоде дуга поддерживается электростатической (автоэлектронной) эмиссией, поэтому её иногда называют автоэлектронной дугой.

При разряде с горячим катодом дуга поддерживается в основном термоэлектронной эмиссией и называется термоэлектронной или термической дугой.

По роду среды, в которой реализуется дуговой разряд, различают дуги при пониженном давлении окружающей среды (в вакууме), в газах и парах. Возможны случаи, когда дуга горит при повышенном давлении окружающей среды.

Дуга в газах возникает в тех случаях, когда электроды тугоплавки и не принимают участия в образовании газовой среды, в которой протекает разряд.

Если же в процессе горения дуги сами электроды испаряются и создают атмосферу разрядного промежутка, то разряд называется дугой в парах. Дуга может возникнуть между электродами в вакууме. Как правило, после своего возникновения такая дуга горит в парах материалов электродов.

По внешнему признаку дуги делят на длинные и короткие. Если катод и анод настолько удалены друг от друга, что тепловой режим одного из них не влияет на тепловой процесс другого, дуга называется

ся длинной. Если же электроды настолько сближены, что они находятся в тесном тепловом взаимодействии друг с другом, дуга называется короткой.

Если раздвигать электроды после короткого замыкания, то при нарушении контакта между ними возникает проводящий слой, который состоит из раскалённых частиц воздуха и паров материала электродов. Этот проводящий слой и представляет собой дуговой разряд. У оснований разрядного промежутка расположены ограничивающие поверхности – электроды (катод у отрицательного основания и анод у положительного основания).

Боковую поверхность разрядного промежутка представляют раскаленные газы («ореол» или «факел» дуги), не принимающие участия в прохождении тока. За «ореолом» следует нейтральная ограничивающая среда.

Наблюдения показывают, что при длительном горении дуги катод срабатывается на конус, а у анода в центральной его части образуется углубление.

Строение дугового промежутка довольно сложное. Непосредственно к катоду прилегает катодная область. Длина этой области очень мала (порядка 10^{-5} см) и не зависит от общей длины дугового промежутка.

В центре катодной области расположено катодное пятно. Оно представляет собой ярко светящийся участок. Плотность тока в катодном пятне значительно больше, чем в окружающих областях поверхности катода.

Непосредственно к катодной области примыкает столб разряда. Это – самая длинная часть разрядного промежутка. Столб разряда состоит из газовой среды, содержащей зарядные частицы, осуществляющие прохождение тока через дугу. В столбе разряда происходит трансформация основной части электрической энергии в тепловую.

За столбом разряда расположена анодная часть дугового промежутка. Эта область прилегает непосредственно к аноду. Её длина также очень мала (порядка 10^{-3} см) и не зависит от длины разрядного промежутка.

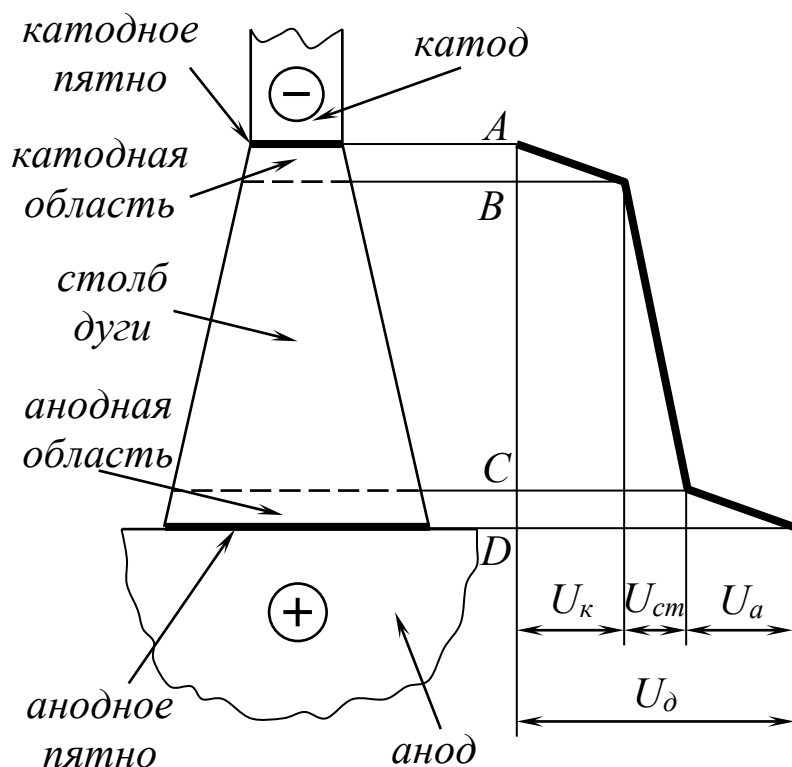
На поверхности катода дуга обычно сосредотачивается на определенной, довольно резко очерченной площадке – катодном пятне. На угольном электроде катодное пятно при устойчивом горении дуги находится почти в неподвижном состоянии, в то время как на металлических электродах оно всё время перемещается. Плотность тока на

катоде меняется в весьма широких пределах и зависит от материала электродов, среды, в которой горит дуга, давления и т.д.

Следует отметить ещё одно обстоятельство, вытекающее из опытов К. К. Хренова. Так как плотность катодного тока примерно в девять раз больше плотности анодного, то площадь, занимаемая катодным пятном во столько же раз меньше площади, занимаемой анодным пятном, и, следовательно, столб дуги должен иметь коническую форму.

Экспериментальное исследование распределения потенциала вдоль дуги представляет большие трудности по двум причинам: с одной стороны, некоторые характерные области дугового разряда, как например, область катодного падения потенциала, имеют весьма малые линейные размеры; с другой стороны, в области столба дуги имеют место высокие температуры, что затрудняет применение такого эффективного метода измерений как метод зондов.

На рис. 1 приведена примерная картина распределения напряже-



ния в дуге. Здесь АВ — катодная область дугового промежутка, ВС — столб дуги, CD — анодная область.

Длины отдельных областей показаны без соблюдения масштаба, так как участки АВ и CD характеризуются значительно меньшими размерами, чем участок ВС.

Анодное и катодное падение потенциалов не зависят ни от длины дуги, ни от величины общего напряжения, приложенного к разрядному промежутку. Эксперименталь-

Рис. 1

ные данные, полученные многими исследователями, показывают, что катодное падение напряжения примерно равно потенциалу ионизации газа или пара, в котором происходит разряд.

При нормальном горении дуги продольный градиент поля в столбе – величина постоянная, что указывает на отсутствие объёмных зарядов в столбе.

Напряжение на дуге представляет собой сумму падения напряжения в приэлектродных областях и в столбе дуги, т.е.

$$U_{\partial} = U_{\kappa} + U_{\text{ст}} + U_a \quad (\text{см. рис. 1}) \quad (1)$$

U_{∂} – напряжение на дуге, В;

U_{κ} – катодное падение напряжения, В;

$U_{\text{ст}}$ – падение напряжения в столбе дуги, В;

U_a – анодное падение напряжения, В.

Сложная зависимость между параметрами дуги выражается эмпирическими уравнениями, такими как:

уравнение Г. Айртон
$$U_{\partial} = a + bL + \frac{c + dL}{I};$$

уравнение Штейметца
$$U_{\partial} = a + \frac{cL + dL}{\sqrt{I}}; \quad (2)$$

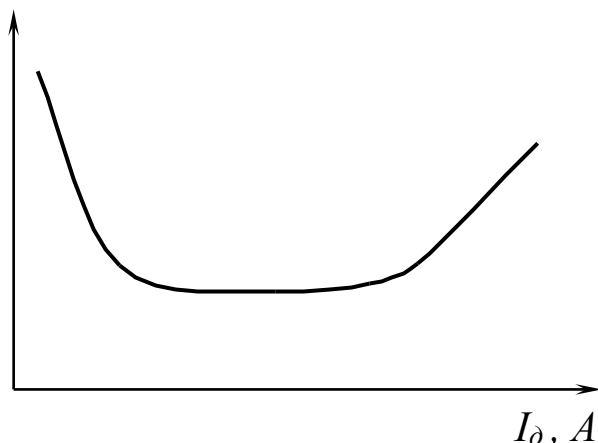
уравнение Ноттингема
$$U_{\partial} = a + bL + \frac{c + dL}{I^n},$$

где a, b, c, d, n – постоянные.

Многочисленные замеры, проведенные для сварочных угольных дуг (К. К. Хренов и др.) длиной от 2 до 25 мм и током в дуге от 50 до 500 А, показали крайне незначительное влияние тока на напряжение дуги. В исследованных пределах напряжение дуги или совсем не изменялось с изменением тока, или же изменялось настолько мало, что величина изменений оказывалась меньше величины возможных ошибок наблюдения.

Таким образом, в уравнениях Герты Айртон и Ноттингема третий член, зависящий от I , обращается в нуль, они становятся тождественными по форме и могут быть выражены уравнением:

$$U_{\partial}, \text{ В} \quad U_{\partial} = a + bL \quad (3)$$



Дуга характеризуется тремя основными параметрами: напряжением на дуге, током и длиной дуги.

Зависимость между двумя параметрами дуги, полу-

Рис. 2

ченная при медленных изменениях одного из них, т.е. при стационарном режиме горения дуги, называют статической характеристикой дуги.

Обычно статические характеристики дуги представляют в виде графиков, выражающих зависимости $U = f(I)$ при $L = const$ или $U = f(L)$ при $I = const$. На рис. 2 показан примерный вид статической характеристики дуги $U = f(I)$ при $L = const$, а на рис. 3 – $U = f(L)$ при $I = const$.

Возрастающий участок кривой (рис. 2) уравнению Айртона не подчиняется. Возрастание U при увеличении I можно объяснить увеличением плотности тока дуги, т.к. сечение столба дуги ограничивается диаметром электрода.

Сопоставляя выражения (1) и (3), можно уяснить физический смысл коэффициентов уравнения (3). Коэффициент a , очевидно, представляет собой сумму катодного и анодного падения напряжения, т.е.

$$U_k + U_a = a, \quad (4)$$

(коэффициент a выражается в вольтах).

Катодное U_k и анодное U_a падение напряжения не зависят от длины дуги (см. уравнение 1) и при данных химическом составе материала электродов и газовой среде являются постоянными, т.е.

$$U_k + U_a = const,$$

следовательно, $a = const$.

Падение напряжения в столбе дуги находится в прямой зависимости от длины столба:

$$U_{cm} = bL_{cm} \approx bL_d \quad (5)$$

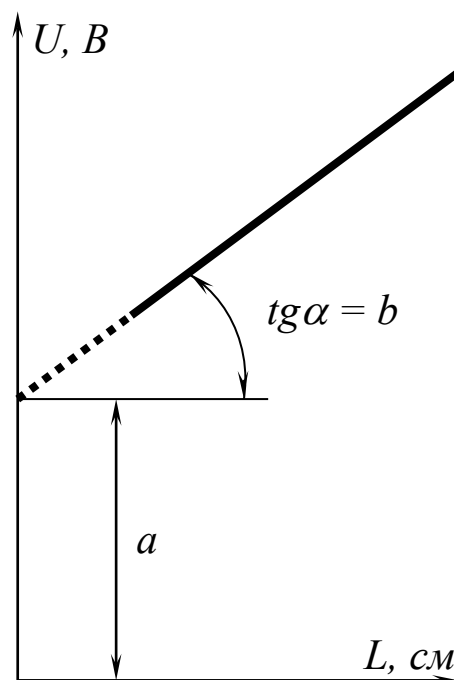


Рис. 3

Коэффициент b является градиентом потенциала в столбе дуги, т.е. падение напряжения на единицу длины столба.

Зависимость, выраженная уравнением (3), позволяет по показаниям вольтметра судить о длине дуги (например, при сварке под флюсом). Кроме того, она используется в дуговых автоматах и полуавтоматах, автоматически изменяющих скорость подачи электродной проволоки при наличии возмущений по длине дуги.

Знание численных значений коэффициентов a и b позволяет определить минимальное напряжение, при котором возможно горение данной дуги, и характер изменения напряжения при увеличении длины дуги.

Строение дуги можно наблюдать через светофильтр или с помощью оптической проекции дуги на экран. При наблюдении дуги через светофильтр происходит искажение истинной окраски различных зон дуги, и измерение ее длины осуществлять очень трудно. При проектировании дуги на экран искажается окраска зон дуги и появляется возможность получить на экране увеличенное её изображение, пользуясь которым, можно достаточно точно измерить длину дуги, что

необходимо для построения статических характеристик дуг.

Установка для проектирования дуги на экран представляет собой проекционный фонарь, внутри которого возбуждается дуга. Схема установки показана на рис. 4.

Увеличенное изображение на экран можно зарисовать, обводя контуры изображения карандашом. Зная степень увеличения изображения K , можно определить фактическую длину дуги и размеры её отдельных зон.

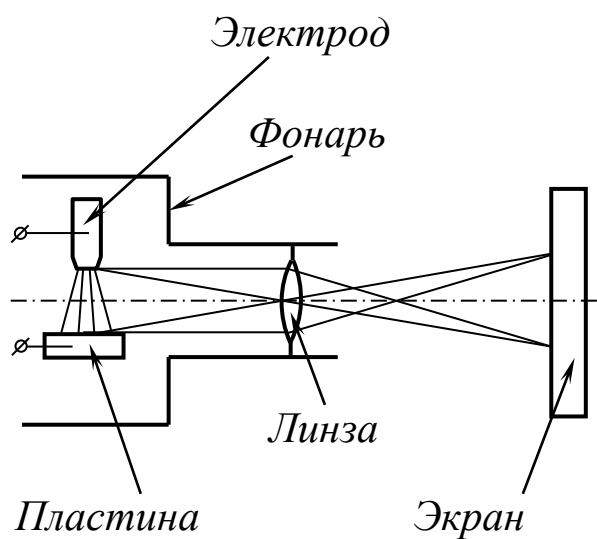


Рис. 4

III. Рабочее задание

- 1) Пользуясь методом оптической проекции, ознакомиться со строением дуги постоянного тока, горящей в атмосфере воздуха:

- а) между двумя угольными электродами;
- б) между угольными и металлическими электродами при прямой и обратной полярности.

Определить фактические значения длины дуги, диаметра активных пятен на электродах, диаметров столба в пяти различных поперечных сечениях.

Описать цвета различных зон дуги.

По указанию преподавателя, использовать угольные или графитовые электроды и пластины из малоуглеродистой стали, меди или алюминия.

- 2) Построить статические характеристики дуги постоянного тока $U = f(L)$, горящей в атмосфере воздуха:
 - а) между двумя угольными электродами;
 - б) между угольными и металлическими электродами при прямой и обратной полярности.
- 3) Определить численные значения коэффициентов a и b уравнения (3).
- 4) Снять вольтамперную характеристику $U = f(I)$ дуги постоянного тока, горящей в атмосфере воздуха между двумя угольными электродами.

Примечание: объем задания, материал электродов и режимы горения дуги указывает преподаватель.

IV. Оборудование, приборы и материалы, необходимые для выполнения работы

- 1. Оборудование сварочного поста постоянного тока (сварочный выпрямитель или преобразователь, балластный реостат, пускатель, переключатель полярности, вольтметр, амперметр с шунтом, сварочные провода).
- 2. Дуговой проекционный фонарь.
- 3. Экран.
- 4. Угольные или графитовые электроды.
- 5. Металлические пластины (стальные, медные, алюминиевые) размером 100×50×6 мм.
- 6. Мерительный инструмент (масштабная линейка, штангенциркуль).

V. Ход работы

1. Собрать электрическую схему, показанную на рис. 5.
2. Включить сварочный преобразователь, установить заданный ток короткого замыкания и, манипулируя подающим винтом электро-
додержателя в дуговом фонаре, зажечь дугу.
3. Перемещая тубус с линзой, добиться резкого изображения электрода и дуги на экране.
4. Измерить диаметр проекции электрода на экране.
5. Погасить дугу и измерить диаметр электрода.

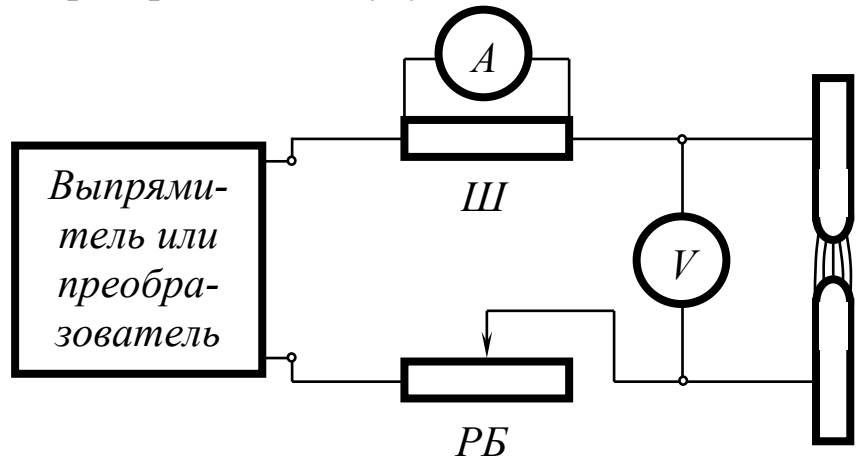


Рис. 5

6. Определить степень увеличения:
- $$K = \frac{\text{диаметр проекции электрода}}{\text{диаметр электрода}}$$
7. Произвести зарисовку дуги и необходимые измерения в соответствии с пунктом 1 рабочего задания. Одновременно с измерением длины дуги зафиксировать показания измерительных приборов.
 8. Увеличить и измерить длину дуги, фиксируя показатели приборов. Повторить указанное 5 – 6 раз.
 9. Установить новое значение силы тока короткого замыкания и повторить указанное в пунктах 6 и 7. Число повторений определяется рабочим заданием.
 10. По экспериментальным данным (пункты 6 – 8) построить статистические характеристики дуги, выражающие зависимость напряжения на дуге от её длины, и определить значения коэффициентов a и b .

Уравнение (3) является линейным, поэтому график выражается прямой линией (рис. 3), отсекающей на оси ординат (если продолжить прямую) отрезок, равный коэффициенту a . Величина коэффициента b определяется как тангенс угла наклона прямой к оси абсцисс:

$$b = \frac{U - a}{L}$$

где U и L – значения напряжения и длины дуги, соответствующие любой, произвольно взятой точке на прямой.

11. Зажечь в фонаре дугу между угольными электродами и, пользуясь её проекцией на экране, измерить длину дуги, зафиксировав одновременно показания прибора.

Поддерживая длину дуги постоянной, ступенями увеличивать ток и фиксировать показания приборов на каждой ступени.

12. Повторить указанное в пункте 11 при другой длине дуги.

13. По экспериментальным данным построить вольтамперные статические характеристики дуги $U = f(I)$, выражающие зависимость напряжения на дуге от тока дуги.

Условия проведения опытов и результаты последних рекомендуется записывать в таблицу по прилагаемой форме.

№ п.п.	Материал электрода		Ток короткого замыкания, А	Ток дуги, А	Напряжение на дуге, В	Длина проекции дуги, мм	Длина дуги, мм	Значения коэффициентов	
	анод	катод						a , В	b , В/мм

VI. Техника безопасности

При выполнении работы нужно строго соблюдать следующие правила:

1. Нельзя включать оборудование и приборы без разрешения преподавателя или лаборанта.
2. Нельзя прикасаться к элементам электрической схемы и частям установки, находящимся под напряжением.
3. Нельзя смотреть на дугу без светофильтра.

Кроме того, необходимо соблюдать правила поведения в лаборатории и общие правила техники безопасности при выполнении сварочных работ.

VII. Вопросы для самопроверки

1. Что такое электрическая дуга?
2. Какие разновидности дуг применяют в сварочной технике?
3. Что такое прямая и обратная полярность?
4. Какие основные параметры характеризуют сварочную дугу?

5. Что такое статическая характеристика дуги?
6. Какую зависимость выражает уравнение Г. Айртон?
7. Как зависит напряжение на дуге от её длины?
8. Как зависит напряжение на дуге от силы тока?
9. Как распределяется напряжение по длине дуги?
10. Каков физический смысл коэффициентов a и b уравнения дуги?
11. Какова методика снятия статической характеристики дуги
$$U = f(I)?$$
12. Какова методика снятия статической характеристики дуги
$$U = f(L)?$$

VIII. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Рабочее задание.
3. Расчетные формулы.
4. График.
5. Расчеты коэффициентов.
6. Выводы.