



**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»

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛАСТИЧНОСТИ**  
**СВАРОЧНОЙ ДУГИ**

Ростов-на-Дону, 2022

## **I. Цель работы**

1. Изучить методику определения эластичности сварочной дуги.
2. Определить влияние компонентов электродного покрытия (флюса) на эластичность сварочной дуги.
3. Определить влияние электрических параметров сварочной цепи на эластичность сварочной дуги.

## **II. Общие положения**

Для стабильности параметров сварного шва необходимо обеспечить постоянство режима сварки, т. е. устойчивость самого физического процесса существования дугового разряда.

Общепринятого критерия физической устойчивости сварочной дуги в настоящее время не разработано. В качестве таких критериев применяют скорость перемещения активных пятен дуги, амплитуду и частоту колебаний напряжения дуги и др. переменные характеристики дуги, определенным образом связанные с пространственной неустойчивостью дуги. Одной из причин нарушения стабильности процесса сварки может быть недостаточный запас эластичности дуги. Эластичность дуги это способность дуги удлиняться в определенных пределах без ее обрыва. Возмущения по длине дуги могут быть при сбросе капли расплавленного металла с торца электрода, при различных перемещениях электрода вдоль или поперек шва (что особенно сказывается при сварке угловых, тавровых и нахлесточных соединений, см. рис.1), при местном нарушении правильности сборки свариваемых деталей (ступенчатость кромок), при возбуждении дуги с короткого замыкания электродов с последующим их разделении.

При возбуждении дуги в случае РДС у опытного сварщика амплитуда отрыва электрода составляет до 3 мм, у неопытного до 6 мм. Если считать, что это максимальные возмущения по длине дуги, то эластичность дуги должна обеспечивать горение дуги без обрывов при случайных ее удлинениях до 6 мм. В этом случае будет гарантирована нормальная работа сварщика любой квалификации.

В настоящее время наиболее распространенным критерием оценки эластичности является разрывная длина дуги, определяемая по методике К. К. Хренова. Суть ее состоит в следующем.

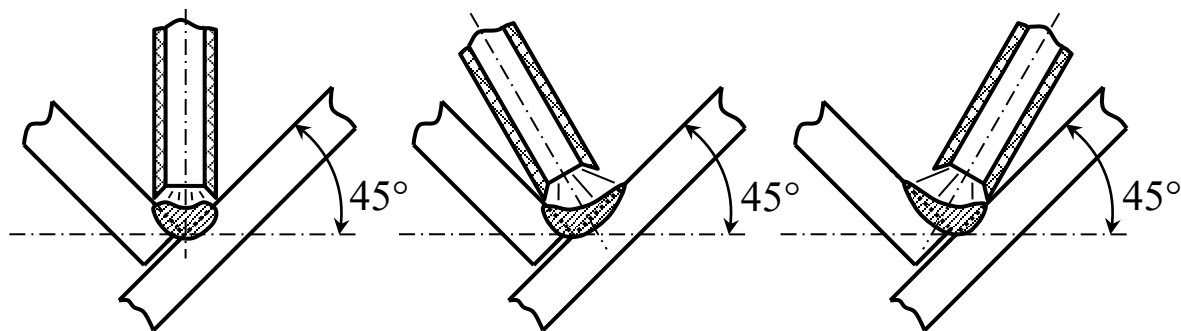


Рис. 1

На сварочный стол кладут зачищенную до металлического блеска пластину малоуглеродистой стали толщиной 10 мм и устанавливают штатив, в котором вертикально закрепляется подлежащий испытанию электрод (см. рис. 2). Под штатив укладывают изоляционную подкладку (резиновую, деревянную и т.д.).

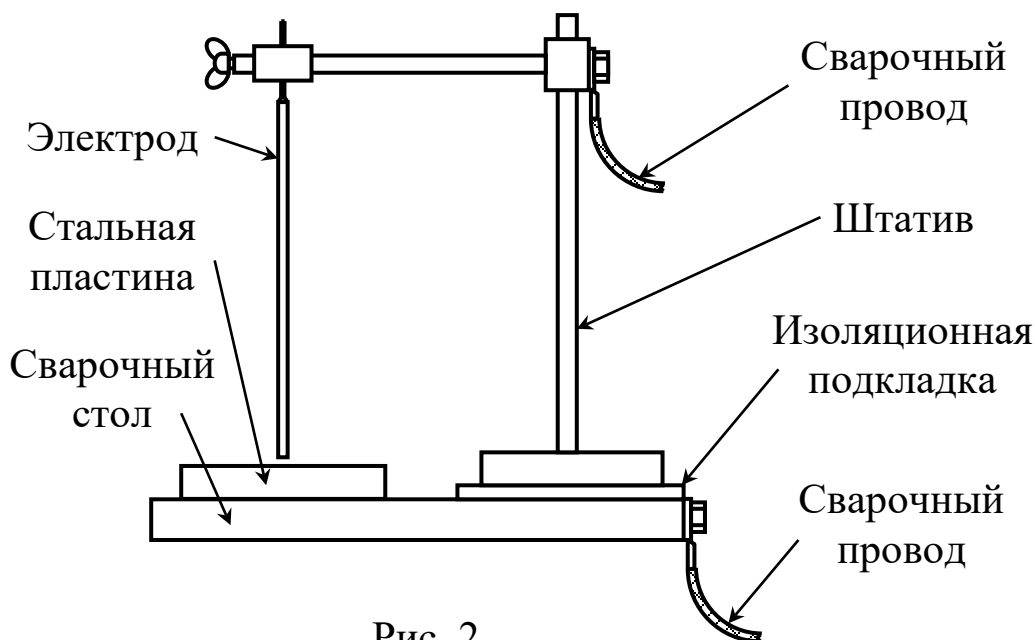


Рис. 2

Нижний конец электрода с помощью шаблона устанавливают на расстоянии 2 мм от пластинки. К столу и штативу подводят провода от источника питания.

После подачи напряжения заостренным угольным стержнем на короткое время замыкают зазор между концом электрода и пластиной. В момент размыкания зазора должна возбудиться дуга. Дуга должна гореть до естественного обрыва, который происходит в следствие возрастания длины дуги в процессе плавления электрода. После обрыва дуги выключают источник питания и с помощью шаблона измеряют расстояние между концом оплавленного электрода и бошкой, наплавленной на пластину (рис. 3). Это расстояние  $l_p$ , равное длине дуги в момент ее погасания, называется разрывной длиной ду-

ги. Разрывная длина дуги эта такая длина дуги, при достижении которой обрыв дуги при данных условиях неизбежен. Разрывная длина дуги служит мерой эластичности дуги в заданных условиях. Чем больше разрывная длина дуги, тем лучше эластичность дуги.

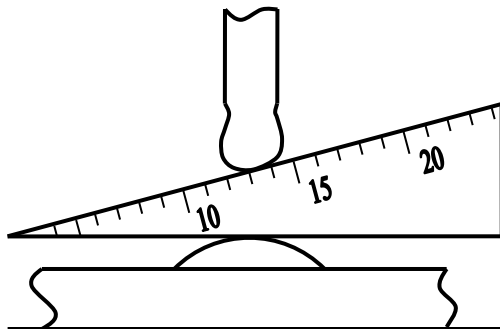


Рис. 3

Оценка эластичности дуги по методике К. К. Хренова носит статистический характер и требует большого количества опытов из-за значительного разброса результатов измерений. Следует отметить, что условия горения дуги при неподвижном электроде значительно отличаются от реально существующих в процессе сварки и

особенно при возбуждении дуги. Средняя скорость удлинения дугового промежутка при этих испытаниях сравнительно невелика и равна скорости плавления электрода.

Устойчивость дуги уменьшается за счет уменьшения тока. В этих условиях значительное воздействие на дугу оказывают внешние возмущения, в т. ч. магнитное дутье, хаотическое перемещение крупных капель на торце электрода и др. Это значительно уменьшает физическую устойчивость дуги и определяет повышенный разброс значений разрывной длины дуги.

Условия существования дугового разряда зависят прежде всего от химического состава основного и электродного металла, газовой и шлаковой фаз, электрических параметров источников питания и сварочной цепи.

Для электрической цепи, состоящей из источника питания, дуги (потребителя энергии) и активного сопротивления (всего контура, в т. ч. и регулировочного балластного реостата), справедливо будет следующее уравнение:

$$U_{\text{un}} = U_{\text{д}} + I_{\text{д}} \cdot R_{\text{св.ц}} \quad (1)$$

Многочисленные опыты с короткими дугами сварочного режима ( $0 < l_p < 8$  мм) показали (I), что все они описываются линейным уравнением Г. Айртон вида

$$U_{\text{д}} = a + b \cdot l_{\text{д}} \quad (2)$$

где  $a = U_{\text{к}} + U_{\text{а}}$  (сумма катодного и анодного падения напряжений), В;

$b$  – падение напряжения на единицу длины столба дуги, В/мм.

Тогда из уравнений (1) и (2) получим

$$l_d = \frac{U_{ин} - I_d \cdot R_{св.ц} - (U_k + U_a)}{B}, \quad (3)$$

Уравнение (3) определяет зависимость длины дуги как от электрических параметров сварочной цепи ( $U_{ин}$ ,  $R_{св.ц}$ ), так и от хим. состава сварочных материалов ( $U_k$ ,  $U_a$ ,  $B$ ).

Возникновение дугового разряда между металлическими электродами обусловлено ионизацией газовой атмосферы дугового промежутка.

Процесс ионизации сопровождается затратой энергии:

$$A = e_0 \cdot U_i \cdot (\alpha - \beta) \quad (4)$$

где  $e_0$  – заряд электрода ( $4,8 \cdot 10^{-10}$  СГСЕ заряда);

$U_i$  – потенциал ионизации (вольты).

Чем ниже потенциал ионизации атома или молекулы, тем легче можно образовать из одной нейтральной частицы две заряженных: электрон и положительный ион. Процесс ионизации можно выразить уравнением:



Следовательно, чем ниже потенциал ионизации частиц, тем легче создать проводящую атмосферу, необходимую для поддержания дугового разряда.

Поэтому для увеличения устойчивости дугового разряда в состав электродных покрытий вводят вещества с низкими потенциалами ионизации (соли натрия, калия, кальция).

Ионизирующее действие таких добавок определяется не только величиной потенциала ионизации, но и упругостью пара данного соединения или простого вещества, так как упругость пара (через скорость испарения) определяет концентрацию легкоионизирующихся атомов в атмосфере дугового разряда. Поэтому при вычислении эффективного потенциала ионизации любой газовой смеси необходимо знать не только потенциалы ионизации, но и концентрации компонентов газовой смеси, так как они входят в уравнение для вычисления эффективного потенциала ионизации:

$$U_{эф} = -\frac{T}{5800} \ln \sum^k \left( \frac{n_i}{n} \right)^{\frac{1}{2}} \exp \left( -\frac{5800 U_i}{T} \right), \quad (6)$$

где  $T$  – абсолютная температура;

$\frac{n_i}{n}$  – концентрация компонента (молярная дробь);

$U_i$  – потенциал ионизации компонента.

Следует иметь ввиду, что вещества с низким потенциалом ионизации, как правило, имеют низкую температуру кипения, т. е. высокую упругость пара. Следовательно, даже при незначительном количестве этих элементов в составе электродного покрытия (или флюса) в газовой фазе может быть значительная концентрация этих элементов. Влияние даже небольших концентраций веществ с малым потенциалом ионизации на значение эффективного потенциала ионизации наглядно видно из рис. 4.

Для сварочной дуги с некоторым приближением можно считать, что эффективный потенциал ионизации численно примерно равен катодному падению напряжения.

Следовательно (см. уравнение 3), чем меньше эффективный потенциал ионизации, тем большим запасом эластичности обладает дуга при прочих равных условиях.

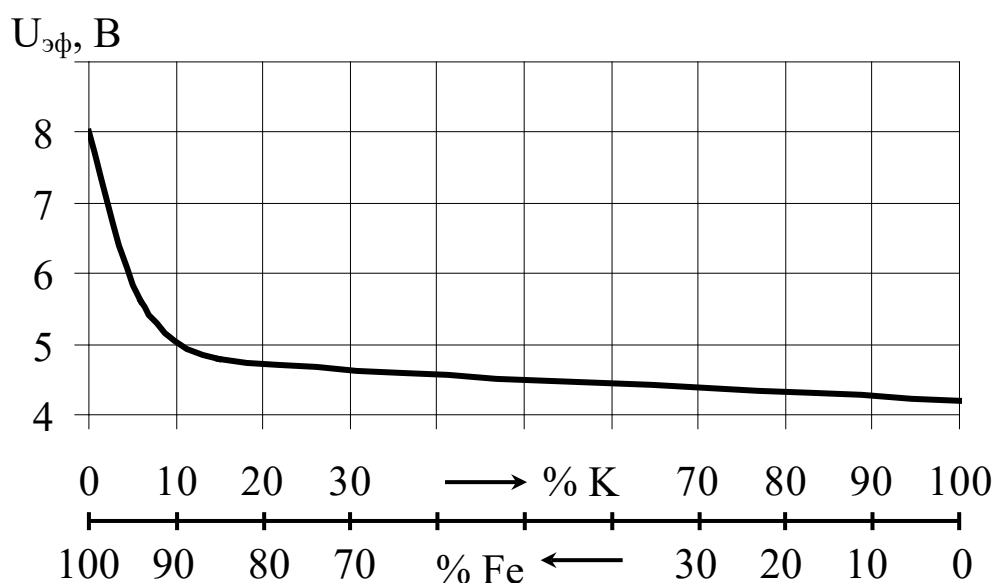


Рис. 4

В настоящее время в состав электродных покрытий, применяемых при сварке постоянным током, входят фториды (чаще всего  $\text{CaF}_2$ ), хлориды, которые являются деионизаторами и понижают эластичность дуги. Их деионизирующие свойства объясняются взаимодействием атомов галогенов с электронами с образованием отрицательных ионов. При этом уменьшается электронная составляющая тока, понижается общая устойчивость дуги.

Введение хлоридов, фторидов вызвано необходимостью связать вредные вещества – серу и фосфор – в соединения, удаляемые из ме-

таллической ванны в шлак. Кроме того, фториды снижают пористость металла шва, обусловленную наличием растворенного водорода в металле шва.

В отличие от электродов с основным покрытием (электродов постоянного тока) универсальные электроды (предназначенные для сварки как постоянным, так и переменным током) обладают большим запасом эластичности дуги.

При ручной дуговой сварке (РДС) режим (ток, напряжение) определяется пересечением внешней характеристики источника питания со статической вольтамперной характеристикой дуги (см. рис. 5).

Например, в какой-то первоначальный момент режим сварки соответствовал точке 1. Плавление электрода и переход капель в сварочную ванну вызвал удлинение дуги до величины  $l_{д2}$ . Этому положению будут соответствовать меньший, чем в прошлом случае, ток  $I_{д2}$  и большее напряжение  $U_{д2}$ . Затем дуга вновь удлиняется, т. е. точка пересечения внешней характеристики источника питания и статической вольтамперной характеристики дуги как бы перемещается по внешней характеристике источника питания по направлению стрелки на рис. 5. Наконец, наступает момент (соответствующий точке n), когда при данных условиях ток дуги будет иметь какое-то пороговое значение  $I_0$ , ниже которого дуга не может существовать. Этому положению соответствует максимальное напряжение дуги и максимальная длина дуги – разрывная длина дуги. Чем выше напряжение источника пита-

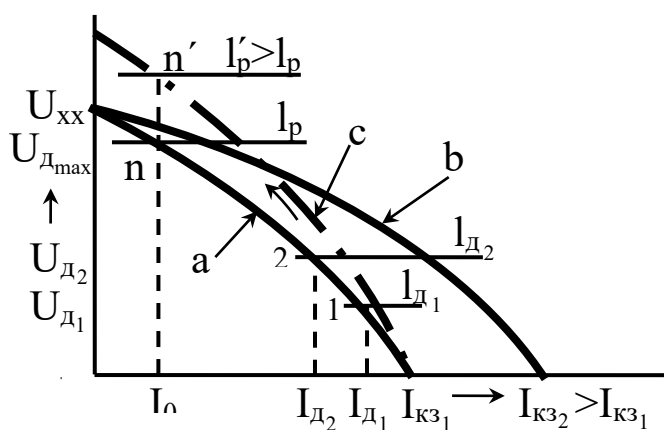


Рис. 5

а, в, с – внешние характеристики источника питания; 1, 2 – статическая вольтамперная характеристика дуги

ния при прочих идентичных условиях, тем больше  $U_{д\max}$ , а, следовательно, и разрывная длина дуги. Это видно из рис. 5 (положение кривой с по сравнению с кривой а) и из уравнения (3).

В условиях определения разрывной длины дуги (т. е. в условиях сварки без подачи электрода), с течением времени про-

исходит изменение всех основных параметров сварки – длины, тока и

напряжения дуги. В этих условиях для идентичности режимов задаются следующими параметрами сварки – напряжением холостого хода источника питания ( $U_{xx}$ ) и величиной тока короткого замыкания ( $I_{кз}$ ), т. е. формой внешней характеристики источника питания.

Если уменьшить сопротивление сварочной цепи  $R_{св.ц}$ , т. е. сделать внешнюю характеристику более пологой (кривая в), то в отличие от внешней характеристики источника питания, соответствующей кривой а, при той же длине дуги, а следовательно, и напряжении, ток дуги будет больше. Это увеличивает степень ионизации столба дуги, т. е. улучшает ее устойчивость.

Следовательно, увеличение как напряжения холостого хода источника питания, так и тока короткого замыкания увеличивает эластичность дуги.

### **III. Рабочее задание**

1. Определить эластичность сварочной дуги постоянного тока при применении голых и покрытых электродов. Марки электродов (или флюсов) указываются преподавателем.

Выразить разрывную длину дуги для заданных электродов в виде диаграммы.

2. Определить влияние параметров источника питания и сварочной цепи ( $U_{xx}$ ,  $I_{кз}$ ) при заданном роде тока и марки электрода на разрывную длину дуги.

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

1. Сварочный пост постоянного тока.
2. Амперметр постоянного тока с шунтом.
3. Вольтметр постоянного тока.
4. Штатив.
5. Штангенциркуль.
6. Шаблон толщиной 2 мм.
7. Электроды диаметром 4 мм или 5 мм голые и с покрытием.
8. Переключатель полярности.
9. Пластины из малоуглеродистой стали размерами 10x50x200 мм (10 штук).



10. Угольный стержень с заостренным концом (для возбуждения дуги).
11. Клиновидный мерительный шаблон.
12. Набор ручного инструмента сварщика.
13. Наждачное точило.
14. Наждачная бумага.

## V. Ход работы

1. Наждачной бумагой очистить до металлического блеска голые электроды и стальные пластины. Очистить до металлического блеска верхние, зажимаемые в штативе, концы покрытых электродов.

2. На наждачном точиле заторцевать рабочие концы электродов. Один конец каждого голого электрода заточить на конус.

3. Собрать электрическую схему, показанную на рис. 6, сварочные провода одного из постов подключить к сварочному столу и штативу.

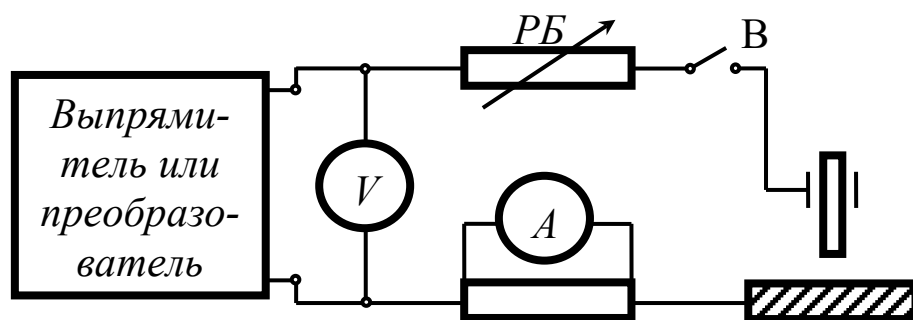


Рис. 6

4. Отрегулировать источник питания на заданную силу тока короткого замыкания.

5. Закрепить электрод в штативе над пластиной, выдержав с помощью шаблона зазор величиной 2 мм между пластиной и концом электрода. Электроды, заточенные на конус, доводятся до соприкосновения с пластиной 6. Включить источник питания 7. Угольным стержнем зажечь дугу (при работе с покрытыми электродами).

При отсутствии зазора между заточенными на конус концами электрода и пластиной дуга должна возбудиться сразу после включения источника питания.

Дуга должна гореть до естественного обрыва.

8. Выключить источник питания.

9. Очистить оплавленный конец электрода и наплавленную на пластину бобышку от шлака.

10. Измерить разрывную длину дуги клиновым мерительным шаблоном.

11. Исходные данные и результаты измерения записать в таблицу.

Таблица записи результатов опыта

Марка электродного покрытия	Напряжение холостого хода, В	Ток короткого замыкания, А	Разрывная длина дуги, мм			
			1	2	3	Среднее значение

12. Повторить указанное в п. п. 4 – 11 нужное количество раз в соответствии с заданием. Полярность меняется с помощью переключателя полярности.

Примечание: Каждый эксперимент повторить не менее трех раз.

13. Вычислить средние значения разрывной длины дуги и записать их в таблицу.

14. Построить диаграмму и графики в соответствии с заданием.

15. Оформить отчет.

16. Убрать рабочее место.

## VI. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Рабочее задание.
3. Запись наблюдений.
4. Выводы по работе.

## VII. Техника безопасности

При выполнении работы необходимо строго соблюдать следующие правила:

1. Соблюдать общие правила поведения в лаборатории и правила техники безопасности при работе с электрическим и сварочным оборудованием.

2. Не включать установку в силовую сеть без разрешения преподавателя или лаборанта.

3. Немедленно выключать источник питания после погасания дуги.
4. При возбуждении дуги пользоваться защитной спецодеждой и сварочным щитком или маской.
5. На наждачном точиле работать в защитных очках.

### **VIII. Вопросы для самопроверки**

1. Какой из следующих компонентов флюса (покрытия)  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{FeS}$ ,  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{CaO}$  сильно снижает эластичность сварочной дуги?
2. Какой из следующих компонентов флюса (покрытия) -  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{FeS}$  – повышает эластичность дуги?
3. Как будет изменяться разрывная длина дуги, если при постоянной величине напряжения источника питания увеличивать сопротивление сварочной цепи?
4. Как будет изменяться разрывная длина дуги, если при постоянной величине тока короткого замыкания увеличивать напряжение источника питания?
5. Какому из составляющих напряжения дуги можно приравнять эффективный потенциал ионизации?
6. Каково назначение тонких, ионизирующих электродных покрытий?
7. Как изменится тепловая мощность дуги при увеличении хлористых или фтористых солей в составе покрытия (флюса), если величины тока и длины дуги останутся неизменными?
8. Как изменится производительность процесса расплавления металла в процессе сварки при увеличении щелочных, щелочно-земельных веществ в составе покрытия (флюса), если величины тока и длины дуги останутся неизменными?