

Составитель Ф. Ш. Шарифьянов

УДК 621.791(07)

ББК 34.641(я7)

Ручная электродуговая сварка: Лабораторный практикум /Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; Сост. Ф. Ш. Шарифьянов. –Уфа, 2010. – 37 с.

Дано описание двух лабораторных работ, содержащих описание явления электрической дуги, её характеристик, а также рассмотрены характеристики основных источников питания для сварки.

Предназначен для студентов, обучающихся по специальностям 150201 «Машины и технология обработки металлов давлением», 150202 «Оборудование и технология сварочного производства», 150204 «Машины и технология литейного производства», 150206 «Машины и технологии высокоэффективных процессов обработки материалов», 150207 «Реновация средств и объектов материального производства в Машиностроении», 080502 «Экономика и управление на предприятии (по отраслям)», 280101 «Безопасность жизнедеятельности в техно-сфере», 280103 «Защита в чрезвычайных ситуациях», 280104 «Пожарная безопасность», для подготовки бакалавра по направлениям 151000 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительным производством», 150600 «Материаловедение и технология новых материалов», а также практикум может быть использован студентами других специальностей.

Табл. 3, ил. 12, Библиогр.: 3 назв.

Рецензенты: канд. физ.-мат. наук Сергеев В.И.,
канд. техн. наук Бычков В. М.

© Уфимский государственный
авиационный технический университет, 2010

Оглавление

Предисловие.....	4
Лабораторная работа № 1. Сварочная дуга и электроды для ручной дуговой сварки.....	6
1. Цель работы.....	6
2. Теоретическая часть.....	6
2.1. Образование сварочной дуги.....	6
2.2. Строение дуги постоянного тока.....	7
2.3. Статическая вольт – амперная характеристика сварочной дуги.....	10
2.4. Особенности дуги переменного тока.....	11
2.5. Электроды для ручной электродуговой сварки.....	14
3. Практическая часть.....	17
3.1. Исследование разрывной длины дуги.....	17
3.2. Оборудование, инструмент, материалы.....	18
3.3. Последовательность выполнения работы.....	18
4. Содержание отчёта.....	20
5. Контрольные вопросы.....	21
Лабораторная работа №2. Источники питания электрической дуги для ручной дуговой сварки.....	22
1. Цель работы.....	22
2. Теоретическая часть.....	22
2.1. Современные сварочные трансформаторы.....	22
2.2. Сварочные выпрямители.....	25
2.3. Инверторные источники питания.....	27
3. Практическая часть.....	30
3.1. Оборудование и материалы.....	30
3.2. Последовательность выполнения работы.....	30
4. Содержание отчета.....	32
5. Контрольные вопросы.....	32
Список литературы.....	33
Приложение.....	34

ПРЕДИСЛОВИЕ

Сегодня значительная часть материала учебных программ, согласно требованиям Государственных образовательных стандартов, выносятся на самостоятельную работу студентов. К самостоятельной работе также следует отнести подготовку студентов к выполнению лабораторных работ. В связи с этим необходимо обеспечить их подробно составленным лабораторным практикумом или его электронным вариантам. Наличие у студентов электронных вариантов описаний лабораторных работ позволяет им легко и быстро подготовить отчёт по лабораторной работе до занятий. А на занятиях студентам остаётся только заполнить приведенные в отчёте таблицы полученными в ходе выполнения лабораторных работ результатами экспериментов, затем по ним построить графики, если это требуется, и составить выводы. При таком подходе студент не тратит много времени на оформление отчёта, т. е. освобождается от рутинного труда, а высвобожденное время можно эффективно использовать на подготовку к лабораторным работам, изучая теоретическую часть, методику проведения экспериментов и ответы на контрольные вопросы.

В данном лабораторном практикуме приведено описание двух лабораторных работ по ручной электродуговой сварке. Эта тема имеет основополагающее значение для понимания других видов электродуговой сварки.

Меры безопасности

- Сварочная дуга является источником опасных излучений, которые вредны для глаз и открытых участков тела. Поэтому категорически запрещается смотреть на сварочную дугу без защитного щитка. При проведении сварочных работ необходимо следить за тем, чтобы защитный щиток полностью закрывал лицо работающего студента. Свет сварочной дуги, даже отраженный от стенок кабины, не должен попадать на глаза других людей. Студенты без щитка должны отвернуться от света дуги или его отражения. Одноразовое краткое облучение (в течение 2...3 с) светом сварочной дуги не приводит к неприятным последствиям и проходит безболезненно. При многократном частом облучении глаз возможны болевые ощущения (слезото-

чивость, неприятное ощущение, как-будто в глаза попал песок), которые проходят через некоторое время, не влияя на остроту зрения.

- Сварочный щиток должен быть исправным: не иметь никаких отверстий, разбитых стекол (цветного и предохранительного).
- В процессе сварки образуется большое количество искр, разлетающихся в разные стороны. Искры-капли расплавленного металла с температурой более 1500 °С, попадая на незащищенные участки тела (руки, ноги), на одежду, могут привести к ожогам или прожечь одежду. Для защиты от ожогов и прожога одежды студент должен надеть специальный защитный костюм – куртку, брюки, рукавицы.
- В процессе сварки свариваемые пластины нагреваются до высоких температур (1200 °С). Горячую пластину следует брать специальными клещами.
- **ПОМНИТЕ**, что горячую пластину ни в коем случае нельзя подносить к лицу, так как от нее отскакивает шлак, что может привести к травматизму.
- Нельзя бросать остатки электродов на пол, так как, наступив на огарок, можно поскользнуться и упасть.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

СВАРОЧНАЯ ДУГА И ЭЛЕКТРОДЫ ДЛЯ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ

1. Цель работы

- 1.1. Изучить процесс образования сварочной дуги.
- 1.2. Определить отличие между сварочной дугой постоянного и переменного токов.
- 1.3. Объяснить причину образования трёх участков вольт-амперной характеристики сварочной дуги.
- 1.4. Установить влияние типа покрытий электродов на длину сварочной дуги.

2. Теоретическая часть

Сварочная дуга характеризуется выделением большого количества тепловой энергии и сильным световым эффектом. Она является концентрированным источником тепла и может расплавить любые металлы при сварке. Сварочная дуга – мощный, стабильный, светящийся электрический разряд в ионизированной атмосфере газов, паров металла и веществ, входящих в состав электродных покрытий. Сварочная дуга загорается и поддерживается энергией, получаемой от источника питания постоянного или переменного тока. Приоритет в практическом использовании сварочной дуги принадлежит российским инженерам (приложение).

2.1. Образование сварочной дуги

Классическими проводниками электрического тока являются металлические материалы, например, медные или алюминиевые провода. Газовая же среда, какой является промежуток между электродом и свариваемым изделием, при обычных условиях является электрически непроводящей, поскольку состоит из электрически нейтральных атомов или молекул газа.

Для протекания электрического тока через газ необходимы заряженные частицы: электроны и ионы. Образование таких частиц в газовом промежутке между электродами происходит следующим

образом. В начале необходимо зажечь дугу. Процесс зажигания дуги в большинстве случаев включает три этапа.

1. Осуществляют короткое замыкание электрической цепи соприкосновением конца электрода на заготовку. При этом в месте контакта выделяется значительное количество теплоты Q согласно закону Джоуля – Ленца:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot \tau, \text{ Дж}, \quad (1.1)$$

где I – сила тока, А;

R – сопротивление, Ом;

τ – время прохождения тока, с.

Ток короткого замыкания практически мгновенно расплавляет металл в месте контакта.

2. Для горения дуги, после короткого замыкания, электрод и изделие необходимо раздвинуть друг от друга на расстояние 3...6 мм. При этом благодаря тепловой энергии, с поверхности электрода происходит испускание электронов (термическая эмиссия). Под действием электрического поля эти электроны устремляются к изделию и на своём пути сталкиваются с нейтральными частицами воздуха. При столкновении происходит отрыв от нейтрального атома или молекулы одного или нескольких электронов, что и называется ионизацией. По мере разогрева столба дуги и повышения кинетической энергии атомов и молекул происходит дополнительная ионизация за счёт их столкновения между собой. Иными словами ионизация – это превращение атомов или молекул в положительные или отрицательные ионы. По мере развития дугового разряда происходит резкое нарастание ионизированных атомов. В результате дуговой промежуток становится электропроводным и через него начинается разряд электричества. Ток в дуге складывается из движения электронов в сторону анода и движения положительных ионов в сторону катода. Принято считать, что ток дуги преимущественно электронный, так как подвижность электронов из-за меньшей массы существенно выше, чем подвижность тяжелых положительно заряженных ионов.

3. Процесс зажигания дуги заканчивается возникновением устойчивого дугового разряда.

2.2. Строение дуги постоянного тока

При сварке на постоянном токе электрод, подсоединенный к по-

ложительному полюсу источника питания дуги, называют анодом, а к отрицательному – катодом. Если сварка ведется на переменном токе, каждый из электродов является попеременно то анодом, то катодом.

Строение дуги постоянного тока и распределение потенциалов по длине дугового промежутка представлены на рис. 1.1.

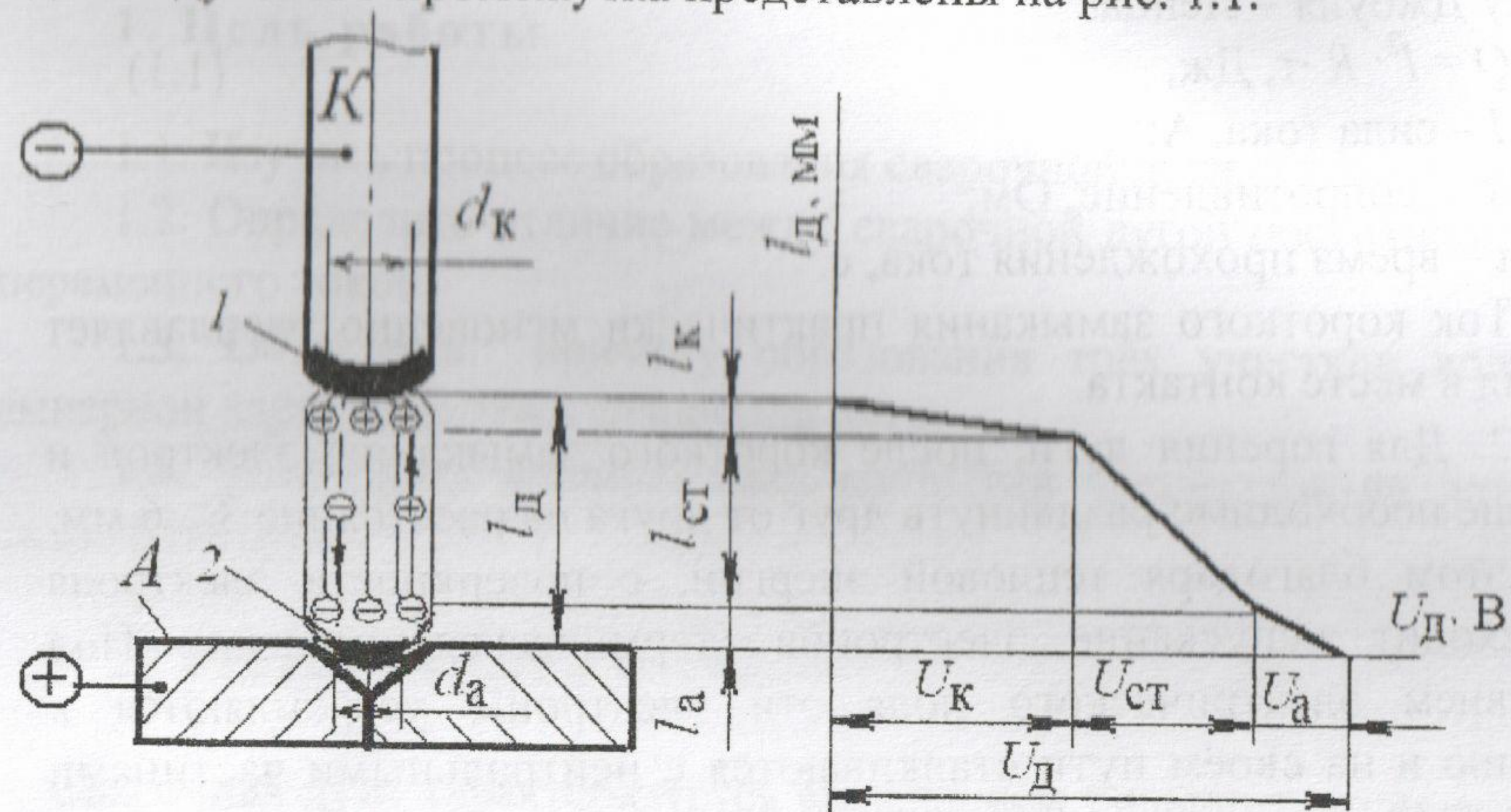


Рис. 1.1. Строение дуги, распределение потенциалов по длине дугового промежутка [1]: K – катод (электрод); A – анод (изделие)

В сварочной дуге четко выражены три области:

1) *катодная область* l_k , прилегающая к катоду K (–) с разогретым катодным пятном 1. Основным физическим процессом в этой области является электронная эмиссия и разгон электронов. Температура катодного пятна для стальных электродов достигает 2400 ... 2700 °C;

2) *столб дуги* $l_{ст}$ – это ионизированный газ, который содержит атомы газов, паров металла и покрытия, нейтральные молекулы, свободные электроны и ионы. Столб дуги занимает наибольшую протяженность дугового промежутка и располагается между катодной и анодной областями. Основным процессом образования заряженных частиц (электронов, положительных ионов и отрицательных ионов) здесь является ионизация газа.

Температура столба дуги зависит от состава газов, величины сварочного тока (с увеличением величины тока температура повышается), типа электродных покрытий и полярности. При

обратной полярности температура столба дуги выше. Температура столба дуги достигает от 6000 и более 8000 °C;

3) *анодная область* l_a включает анодное пятно 2 и часть дугового промежутка, примыкающего к аноду A (+). Ток в анодной области определяется потоком электронов, идущих из столба дуги. Анодное пятно является местом входа и нейтрализации свободных электронов в материале анода. Электрон, попавший на анодную поверхность, отдает металлу не только запас кинетической энергии, но и энергию в виде теплового излучения. Вследствие этого температура анода всегда выше и на нем выделяется больше тепла.

Длиновые размеры приэлектродных областей очень малы и составляют: катодной области $l_k \approx 10^{-5} \dots 10^{-7}$ м; анодной области $l_a \approx 10^{-4} \dots 10^{-5}$ м. Промежуток между электродами называют областью дугового разряда или *дуговым промежутком*. Длину дугового промежутка называют *длиной дуги* l_d .

Сварочная дуга является частью электрической сварочной цепи, и на ней происходит падение напряжения. Распределение падения напряжения по длине дугового промежутка (напряжения дуги U_d) зависит от физических условий, в которых горит сварочная дуга, и является суммой падения напряжений в приэлектродных областях $U_k + U_a$ и столба дуги $U_{ст}$ (см. рис. 1.1):

$$U_d = U_k + U_{ст} + U_a. \quad (1.2)$$

Для сварочной дуги при плавящемся электроде характерно

$$U_k > U_a \text{ и } U_k + U_a > U_{ст}.$$

Для большинства практически используемых режимов сварки принимают $U_k = 10 \dots 20$ В, $U_a = 2 \dots 5$ В и они не зависят от длины дуги и тока, а зависят от концентрации заряженных частиц в приэлектродных областях. Падение напряжения столба дуги $U_{ст}$ существенным образом зависит от величины сварочного тока I_d , защитной среды, материала электродов и может изменяться от 6 до 40 В. Выражение (1.2) падения напряжения в дуговом промежутке можно записать в виде:

$$U_d = a + \epsilon \cdot l_d, \quad (1.3)$$

где $a = U_k + U_a$; $\epsilon = \frac{dU_{ст}}{dl_{ст}}$ – градиент напряжения в столбе, равный 1...4 В/мм или в среднем – 2,5 В/мм. Таким образом, падение напряжения в столбе дуги длиной 4 мм составляет:

$$U_{ст} = \epsilon \cdot l_d = 2,5 \cdot 4 = 10 \text{ В}.$$

2.3. Статическая вольт-амперная характеристика сварочной дуги, питаемой от источников для ручной электродуговой сварки [2]

Основным свойством любой электрической цепи, в том числе и сварочной дуги, является способность проводить ток, которая оценивается с помощью вольт-амперной характеристики (ВАХ). Зависимость напряжения на дуге от её тока в установившемся режиме (при постоянстве длины и проводимости дугового промежутка) называется *статической вольт-амперной характеристикой дуги*, т. е. $U_d = f(I_{св})$ при $l_d = \text{const}$.

Статическая ВАХ сварочной дуги содержит три участка: падающий, жёсткий и возрастающий (рис. 1. 2). Для объяснения природы появления этих трех участков ВАХ сварочной дуги (газового проводника) можно воспользоваться с некоторой погрешностью законом Ома [1]:

$$U_{ст} \approx I_d \cdot R_{ст} = I_d \frac{\rho \cdot l_{ст}}{S_{ст}} = \frac{I_d}{S_{ст}} \cdot \frac{l_{ст}}{1/\rho} = \frac{j_{ст}}{\gamma_{ст}} l_{ст}, \quad (1.4)$$

где ρ — удельное электросопротивление дуги, мкОм·м;

$S_{ст}$ — площадь сечения столба дуги, мм²;

$j_{ст} = \frac{I_d}{S_{ст}}$ — плотность тока, А/мм²;

$\gamma_{ст} = \frac{1}{\rho}$ — электропроводность дуги;

$l_{ст}$, l_d — соответственно длина столба дуги и длина дуги, мм.

Можно принять $l_{ст} \approx l_d$, мм, ввиду малых значений l_k и l_a .

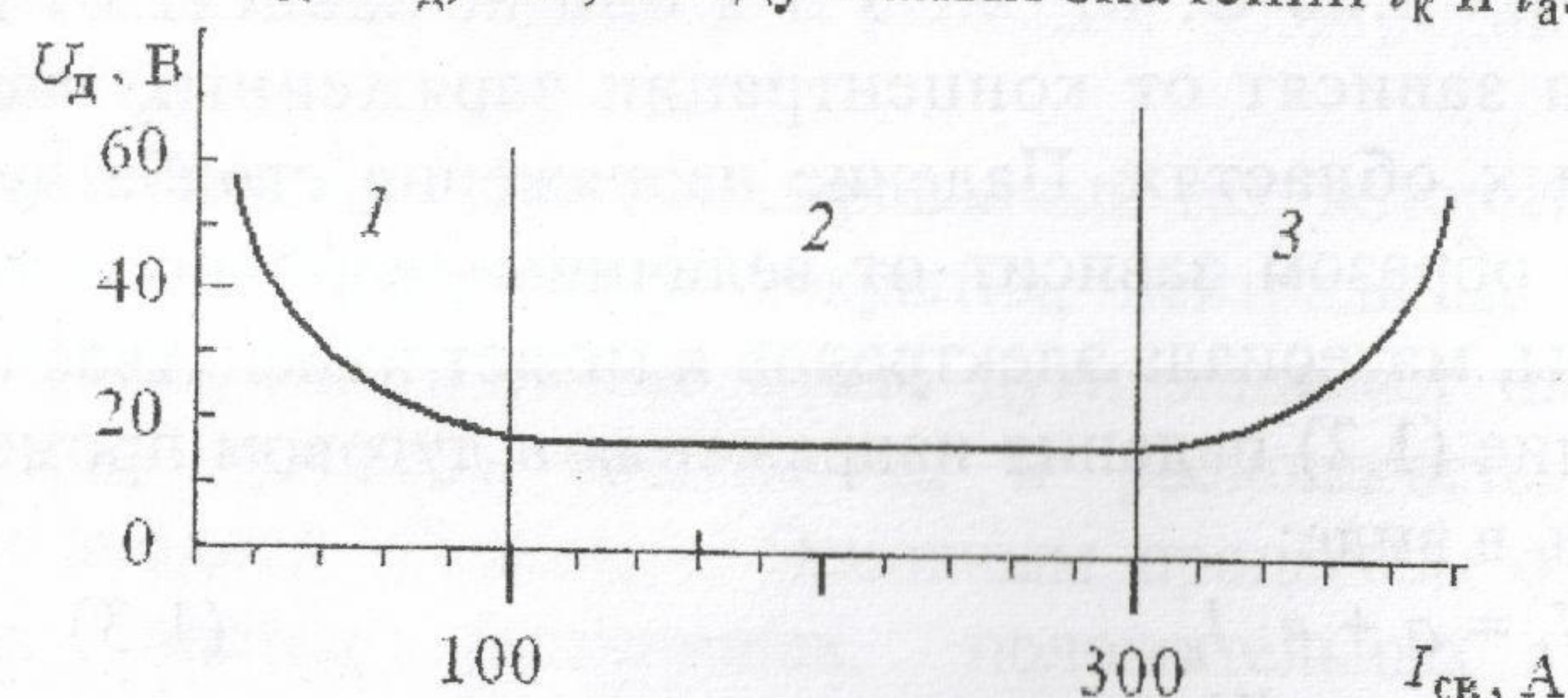


Рис. 1.2. Вольтамперные статические характеристики дуги [2]:

1 — падающий участок; 2 — жесткий участок; 3 — возрастающий участок

Падающую вольт-амперную характеристику имеет дуга при сварочном токе до 80...100 А (см рис. 1.2 — участок 1). На этом

участке в сварочной дуге с увеличением сварочного тока более интенсивно протекает ионизация, возрастает проводимость столба дуги $\gamma_{ст}$ и увеличивается площадь его поперечного сечения $S_{ст}$, которые в уравнении (1.4) находятся в знаменателе и приводят к снижению напряжения дуги. Кроме того, увеличение силы тока в пределах этого участка сопровождается опережающим темпом роста площади катодного пятна с диаметром d_k , что приводит к уменьшению плотности тока $j_{ст}$, а, следовательно, и к снижению напряжения на дуге. Сварочная дуга с падающей вольт-амперной характеристикой имеет малую устойчивость.

Жесткую вольт-амперную характеристику имеет сварочная дуга при токах от 80 до 350 А (см. рис. 1.2 — участок 2). На этом участке увеличение тока сопровождается пропорциональным в столбе дуги возрастанием его площади поперечного сечения и поэтому плотность тока $j_{ст}$ не изменяется. Проводимость дугового промежутка $\gamma_{ст}$ при этом остается без изменения, поскольку температура дуги достигает своего максимального значения. В результате падение напряжения на дуге тоже не изменяется. Таким образом, в области практических режимов сварки напряжение на дуге не зависит от тока (жесткий участок), а зависит только от длины дуги (см. уравнение 1.5). Такая дуга широко применяется в сварочной технике.

Возрастающую вольт-амперную характеристику имеет сварочная дуга при токах от 300 А и выше (см. рис. 1. 2 — участок 3). На этом участке при увеличении сварочного тока напряжение дуги снова возрастает. Напряжение дуги в этом случае растет не за счет увеличения площади поперечного сечения активного пятна катода, которое занимает весь торец электрода, а вследствие увеличения плотности тока $j_{ст}$.

2.4. Особенности дуги переменного тока

Устойчивость горения сварочной дуги переменного тока, ниже, чем дуги постоянного тока. Это связано с тем, что переменный ток частотой 50 Гц в дуге 100 раз в секунду (через каждые 0,01 с) проходит через нуль (рис. 1.3). В процессе перехода тока через нуль и изменения полярности в начале и конце каждого полупериода дуга угасает. При этом снижается температура дуги, снижается ионизация газовой смеси в приэлектродных областях и в столбе дуги, уменьшается проводимость дугового промежутка. До тех

пор, пока напряжение источника тока $U_{и}$ меньше напряжения повторного зажигания U_3 (пика зажигания), дуга загореться не может. При синусоидальной кривой напряжения источника питания загорание дуги произойдет через промежуток времени t_b в точке A , когда величина напряжения источника $U_{и}$ достигнет напряжения зажигания U_3 . После зажигания дуги будет происходить изменение напряжения на дуге U_d и в точке B , в которой напряжение источника станет ниже напряжения горения дуги, дуга погаснет. Синусоидальность напряжения приводит к тому, что при смене полярности дуга переменного тока загорается не сразу, а спустя некоторое время, соответствующее времени возбуждения дуги t_b , пока синусоидальное напряжение источника $U_{и}$ не достигнет значения зажигания дуги U_3 в точке A_1 (см. рис. 1.3).

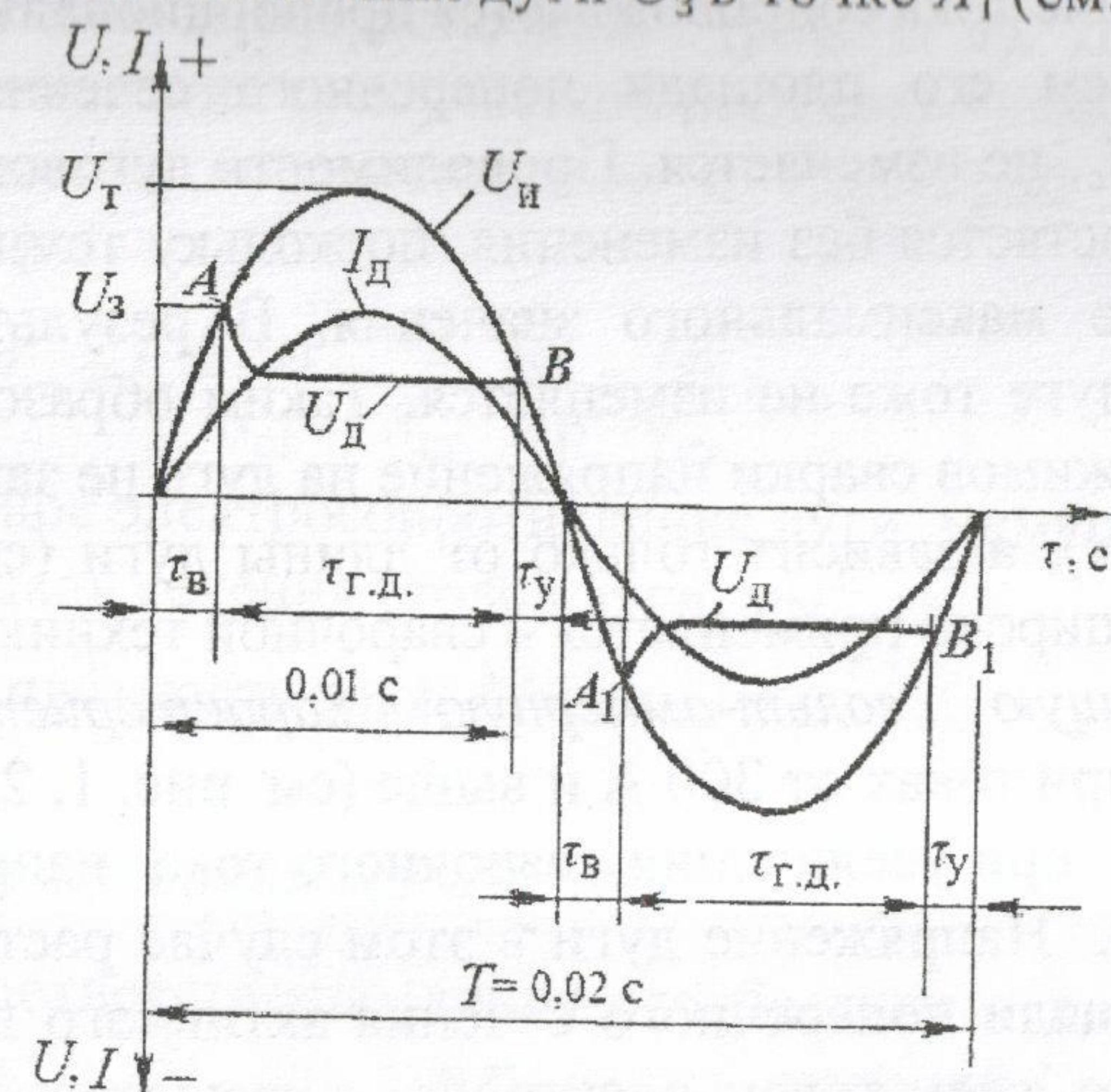


Рис. 1.3. Параметры дуги переменного тока [1, 2]:

$U_{и}$ — синусоидальное напряжение источника; U_d — напряжение дуги; I_d — ток дуги; U_3 — напряжение зажигания дуги; $\tau_{г.д.}$ — время горения дуги; U_T — амплитудное значение напряжения источника питания; $\tau_b + \tau_g$ — время перерыва в горении дуги; T — период синусоидального напряжения и тока

Интервал времени от времени угасания τ_y до времени возбуждения τ_b называется *временем перерыва* t_n в горении сварочной дуги. В этот интервал времени ток I_d , протекающий по сварочному контуру, не равен нулю. Это объясняется тем, что в дуговом промежутке в данный момент времени активное пятно катода еще способно

излучать электроны, а также наличием плазменных потоков в столбе дуги. В дуговом промежутке в течение времени t_n наблюдается тлеющий разряд, а не дуговой. В момент времени $\tau = \tau_b$ напряжение дуги U_d достигает необходимого значения напряжения повторного возбуждения сварочной дуги U_3 и в дуговом промежутке создается напряженность электрического поля такого значения, при котором начинается интенсивное зарождение свободных электронов, приводящее к восстановлению дугового разряда.

Для повышения стабильности горения дуги переменного тока необходимо, чтобы время перерыва ($\tau_b + \tau_y$) было по возможности меньше. Значение времени перерыва можно определить из закона синусоидальности переменного тока:

$$U_3 = U_T \cdot \sin(\omega \tau_b), \quad (1.5)$$

отсюда $\sin(\omega \tau_b) = U_3 / U_T$,

где ω — угловая частота тока, равная ($\omega = 2\pi f$).

Отсюда $\tau_b = \frac{\arcsin U_3 / U_T}{\pi \cdot f}$; тогда время перерыва составит

$$\tau_b + \tau_y \approx 2 \tau_b = 2 \frac{\arcsin U_3 / U_T}{\pi \cdot f}. \quad (1.6)$$

Из выражения (1.6) следует, что повысить стабильность горения дуги переменного тока, т. е. уменьшить время перерыва $\tau_b + \tau_y$ в горении сварочной дуги, можно осуществить:

1) увеличением амплитудного значения напряжения источника питания U_T , т. е. напряжения холостого хода U_x сварочного трансформатора. Однако повышение напряжения холостого хода ограничено условиями электробезопасности при проведении сварочных работ и технико-экономическими показателями источников питания (увеличение габаритных размеров источника питания, расход обмоточных материалов и т. д.). Поэтому для источников питания переменного тока принято отношение между напряжением холостого хода источника и напряжением дуги $U_x / U_d > 1,8 \dots 2,5$. Напряжение холостого хода не должно превышать 80...90 В;

2) увеличением частоты переменного тока, что требует дополнительных устройств (см. работу № 2 — инверторные источники);

3) снижением напряжения зажигания дуги за счет введения в состав покрытия электродов веществ с низким потенциалом ионизации.

Наиболее приемлемым способом повышения стабильности горения дуги при ручной электродуговой сварке является

использование электродов со специальными покрытиями, содержащими компоненты с низким потенциалом ионизации. При введении химических элементов с низким потенциалом ионизации в сварочную дугу снижается значение напряжения повторного возбуждения, улучшаются условия горения сварочной дуги. Это объясняется сохранением проводимости дугового промежутка в течение длительного времени после угасания дуги за счёт сохранения тлеющего разряда.

2.5. Электроды для ручной электродуговой сварки

Для получения высококачественного сварного соединения необходимо правильно подобрать электроды для ручной дуговой сварки. Только в этом случае стык получится прочным, герметичным и долговечным. Электроды для ручной дуговой сварки изготавливают в виде стержней, выполненных из холоднотянутой калиброванной сварочной проволоки, на которую наносят слой защитного покрытия. В зависимости от толщины покрытия электроды разделяются на тонкопокрытые, с толщиной слоя обмазки 0,1...0,3 мм и толстопокрытые, с толщиной слоя обмазки до 2 мм¹.

Тонкие покрытия предназначены для увеличения устойчивости горения дуги и поэтому часто называются ионизирующими покрытиями. Наиболее распространённым ионизирующим покрытием является меловое, состоящее по массе из 80...85 % мелко просеянного мела CaCO_3 и 15...20 % жидкого натриевого стекла $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$. Сварные швы, выполненные этими электродами, из-за отсутствия защиты расплавленного металла обладают низким пределом прочности и низкой пластичностью. Для получения сварных швов с высокими показателями прочности и пластичности пользуются электродами с **толстым покрытием**. Поэтому эти покрытия называют **качественными**. Качественное покрытие выполняет следующие функции: обеспечивает устойчивое горение дуги; защищает расплавленный металл шва от воздействия кислорода и азота воздуха; раскисляет образующиеся в металле шва

¹ Покрытый электрод для сварки был впервые изготовлен и использован в 1907 г. в судостроении шведским инженером Оскаром Кьельбергом. В СССР покрытые электроды серийно стали выпускать в гор. Днепропетровск в 1928 г, на заводе им. Г. И. Петровского (государственный и партийный деятель)

оксиды и удаляет невосстанавливаемые оксиды в шлак; изменяет состав наплавляемого металла вводом в него легирующих примесей; удаляет серу и фосфор из расплавленного металла шва; образует шлаковую корку над металлом шва, замедляет его охлаждение и тем самым способствует выходу газов и неметаллических включений на поверхность металла шва. Для выполнения перечисленных выше функций электродное качественное покрытие должно содержать компоненты, которые условно можно разделить на четыре группы.

К первой группе можно отнести ионизирующие вещества, которые вводятся для снижения эффективного потенциала ионизации (табл. 1.1). Они обеспечивают стабильное горение дуги.

Таблица 1.1

Значение потенциалов ионизации металлов, применяемых в покрытиях

Элементы	K	Na	Ba	Li	Al	Ca	Cr	Ti	Mn
U, В	4,32	5,12	5,19	5,37	5,96	6,03	6,74	6,81	7,4
Элементы	Fe	Si	C	H*	O*	N*	Ar*	He*	
U, В	7,83	7,94	11,22	13,53	13,56	14,51	15,7	21,5	

*) элементы, содержащиеся в воздухе (в межэлектродном промежутке)

В основном это соли щелочных и щелочноземельных металлов (K, Na, Ca, Ba, Li и др.). Они чаще применяются в виде:

1) углекислых солей: мел (мрамор) CaCO_3 , поташ K_2CO_3 , углекислый барий BaCO_3 , сода Na_2CO_3 ;

2) соединений: хромата калия K_2CrO_4 , титанового концентрата ($\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$), марганцевой руды ($\text{MnO}_2 \cdot \text{Mn}_2\text{O}_3$), полевого шпата ($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$), плавикового шпата (CaF_2) и др.

Ионизация газовой среды характеризуется *степенью ионизации*, т. е. отношением числа заряженных частиц в данном объеме к первоначальному числу частиц (до начала ионизации). При полной ионизации степень ионизации будет равна единице. Из рис. 1.4. видно, что при температурах 6000...8000 °C такие вещества как калий, натрий, кальций и другие обладают достаточно высокой степенью ионизации.

Ко второй группе относятся *газообразующие*, и *шлакообразующие* вещества, которые создают в зоне дуги газовую защитную оболочку, а в зоне шва — шлаковую защиту расплавленного металла шва. К газообразующим можно отнести неорганические (мрамор CaCO_3 , магнезит MgCO_3 и др.) и органические (крахмал, древесная

мука и т. п.) вещества. Все эти вещества образуют защитный барьер из CO_2 вокруг сварочной ванны.

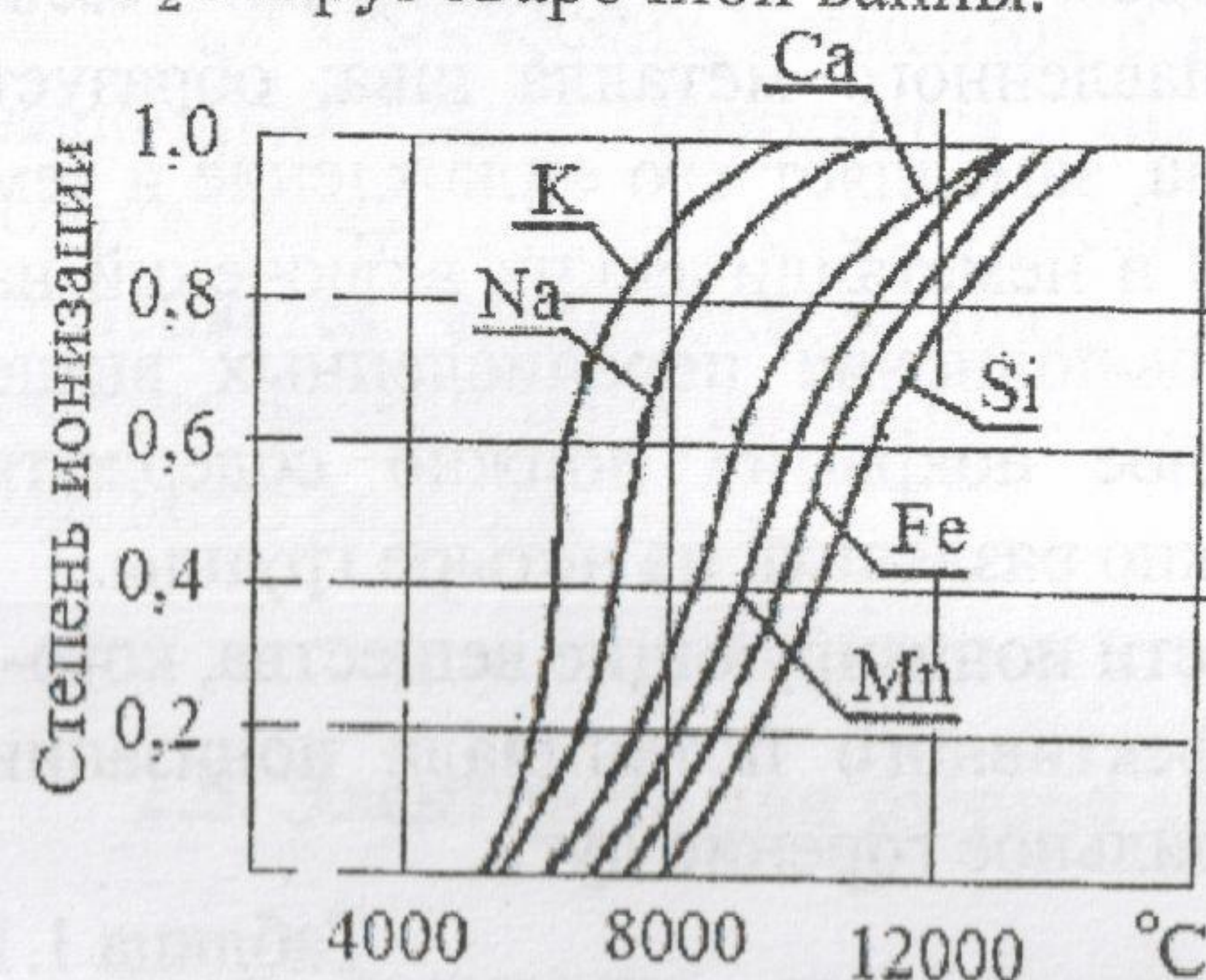


Рис.1.4. Степень ионизации некоторых элементов от температуры нагрева

При помощи шлакообразующих компонентов вокруг сварочной ванны создается защитная шлаковая пленка, препятствующая окислительным процессам. Они представляют собой руды (титановые и марганцевые) и различные минералы (полевой шпат, гранит, кремнезем, плавленый шпат).

Третью группу представляют легирующие вещества, которые в процессе сварки переходят из покрытия в металл шва и легируют его для придания тех или иных физико-механических свойств. К этой же группе можно отнести *раскисляющие вещества*, которые благодаря большому сродству к кислороду очищают металл шва от окислов и выводят их в шлак. Легирующие элементы и раскислители — кремний, марганец, титан, алюминий и другие, а также сплавы этих элементов с железом в виде ферромарганца, ферросилиция и ферротитана. Их применяют для наполнения сварочной ванны легирующими элементами, придавая металлу нужный состав. Алюминий как раскислитель вводится в покрытие в виде порошка-пудры;

К четвертой группе — связующие вещества для придания покрытию монолитности и определенной прочности после его высыхания. В качестве связующего вещества, как уже упоминалось, часто применяют водные растворы силикатов натрия, называемые жидким стеклом $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$.

Для повышения производительности (для увеличения количества наплавляемого металла в единицу времени) и облегчения повторного зажигания дуги в электродные покрытия вводят железный порошок. Его содержание может достигать до 60 % массы покрытия. Таким образом, во все группы веществ, образующих покрытие,

входят элементы (см. табл. 1.1 и рис. 1.4) с низким потенциалом ионизации в виде различных химических соединений.

3. Практическая часть

3.1. Исследование разрывной длины дуги

Длина дугового промежутка, после естественного обрыва дуги, между концом закрепленного электрода и свариваемым изделием называется *разрывной длиной дуги*. Она используется для исследования влияния ионизирующей способности покрытия электродов, рода и плотности тока на устойчивость горения дуги при ручной дуговой сварке.

При исследовании влияния плотности тока одно из значений сварочного тока должно соответствовать расчётному для данного диаметра электрода, два других должны быть меньше и больше. Расчётный ток $I_{\text{рас}}$ определяют по формуле К. К. Хренова²

$$I_{\text{рас}} = (20 + 6d) \cdot d, \quad (1.8)$$

где d — диаметр электрода.

Согласно формулы (1.8) для диаметра электрода $d = 4$ мм расчётный ток составит $I_{\text{рас}} = 176$ А. Сварочный ток можно установить по амперметру источника питания дуги (трансформатора или выпрямителя). Сварочный ток допускается также установить по току короткого замыкания, используя между ними зависимость

$$I_{\text{к.з.}} = K \cdot I_{\text{св}}, \quad (1.9)$$

где K — постоянный коэффициент для данного источника питания; $K = 1,5$ для трансформаторов и выпрямителей.

Для силы сварочного тока $I_{\text{рас}} = 176$ А по (1.9) можно рассчитать ток короткого замыкания: $I_{\text{к.з.}} = 240$ А. Увеличив и уменьшив этот ток, например на 40 А, получим три значения тока, при которых рекомендуется исследовать их влияние на устойчивость горения дуги: $I_1 = 280$ А; $I_2 = 240$ А; $I_3 = 200$ А.

Построив графики зависимости разрывной длины дуги от силы тока для электродов с различным покрытием, можно установить

² Хренов Константин Константинович (1894-1984) — ученый, в области электросварки. Им созданы методы электросварки и резки металла под водой при восстановлении мостов и ремонте судов (Сталинская премия 1946, Государственная премия СССР 1986, посмертно)

влияние указанных факторов на устойчивость горения дуги и об ионизирующем действии электродных покрытий.

3.2. Оборудование, инструмент, материалы

1. Источник питания дуги – сварочный трансформатор ТС – 500 или выпрямитель ВД – 306 С1.
2. Штатив для изучения стабильности горения дуги.
3. Рубильник для включения и выключения источника питания.
4. Сварочный щиток.
5. Брезентовый костюм (фартук) и рукавицы.
6. Комплект электродов (без покрытия, с тонким и толстым покрытием).
7. Мерительный инструмент (металлическая линейка).
8. Угольный заострённый стерженек для возбуждения дуги.
9. Пластина из низкоуглеродистой стали.

3.3. Последовательность выполнения работы

Работа выполняется в следующей последовательности.

1. На стол штатива поместить хорошо очищенную пластину 7 из малоуглеродистой стали. Зачистить торец электрода без покрытия и закрепить его в зажиме 9 (рис. 1.5). Перемещением зажима 10 штатива установить торец электрода на расстоянии 2 мм от поверхности стальной пластины. Для этого удобно пользоваться мерной пластиной толщиной 2 мм, помещаемой под торец электрода.

2. С помощью переключателя ступеней тока 2 и регулятора 3 выпрямителя ВД – 306 С1 установить определенную величину тока короткого замыкания по указателю 5 со шкалой на боковой стенке выпрямителя. Значения токов короткого замыкания приведены в табл. 1. 2 или задается преподавателем, а также может рассчитываться по методике, приведенной в разделе 3.1 для определённых значений силы сварочного тока.

3. К электроду и стальной пластине на штативе подвести напряжение от источника питания при помощи кнопки «пуск» выключателя 1.

4. Зажечь дугу между электродом и стальной пластиной, замыкая на короткое время промежуток между ними заточенным

угольным стержнем. По мере оплавления электрода длина дуги увеличивается. При достижении максимальной своей длины дуга гаснет.

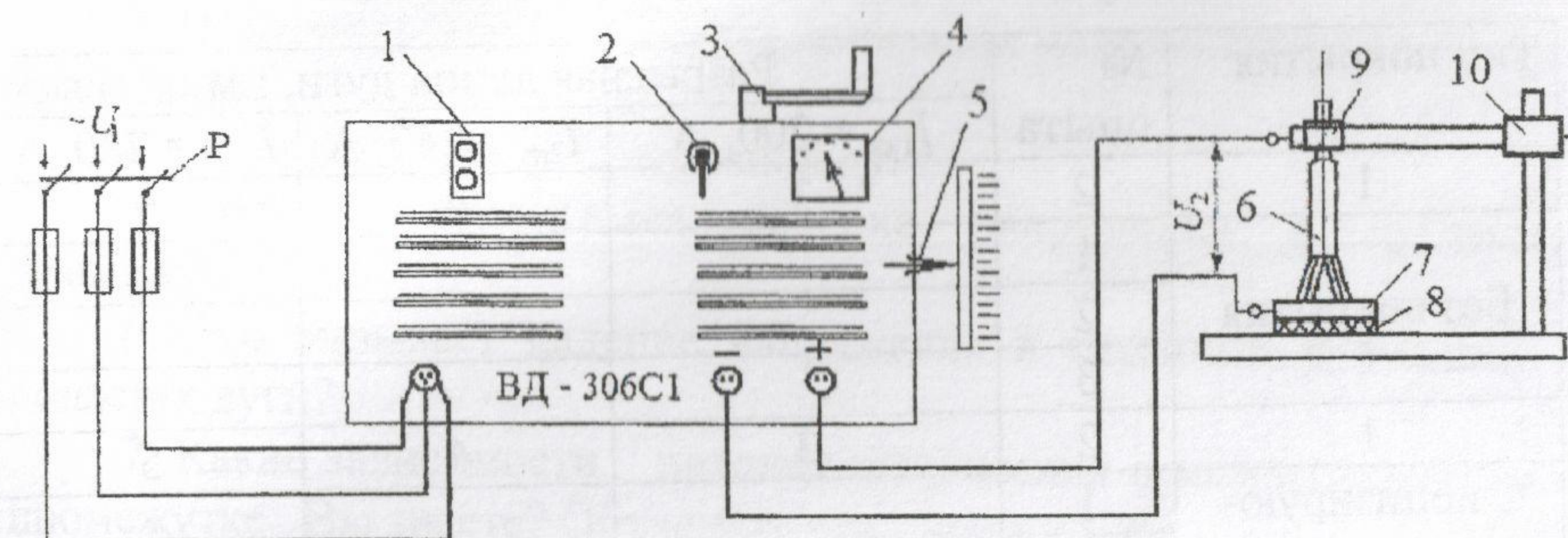


Рис. 1.5. Схема опыта для изучения стабильности горения дуги: 1 – выключатель с кнопками «пуск» и «стоп»; 2 – переключатель ступеней сварочного тока; 3 – рукоятка для регулирования силы сварочного тока; 4 – указатель силы сварочного тока; 5 – шкала силы сварочного тока; 6 – исследуемый электрод; 7 – стальная пластина; 8 – асбестовая изолирующая прокладка; 9 – зажим электрода; 10 – зажим штатива

5. После догорания электрода до естественного обрыва отключить источник питания кнопкой «стоп» выключателя 1.

6. Удалить шлак с наплавленного валика 2 (рис. 1.6) и после охлаждения пластины металлической масштабной линейкой измерить расстояние между торцом электрода и наплавленным металлом l_{max} (разрывную длину дуги).

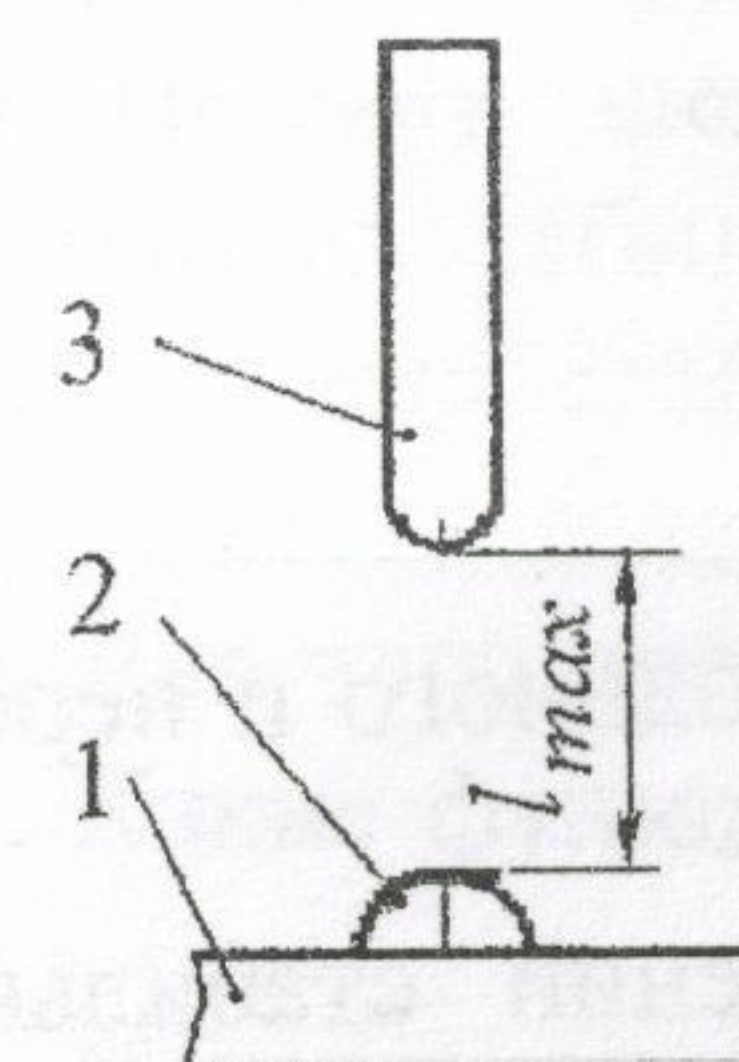


Рис. 1.6. Схема замера разрывной длины дуги l_{max} : 1 – стальная пластина; 2 – наплавленный металл; 3 – электрод

Для достоверности результатов каждый опыт повторить не менее трёх раз и среднее значение занести в табл.1.2.

Таблица 1.2

Зависимость разрывной длины дуги l_{max} от типа электродного покрытия и сварочного тока

Тип покрытия	№ опыта	Разрывная длина дуги, мм		
		$I_{1кз.} = 200, A$	$I_{2кз.} = 240, A$	$I_{3кз.} = 280, A$
1	2	3	4	5
Без покрытия	1			
	2			
	3			
1	2	3	4	5
С ионизирующим покрытием	1			
	2			
	3			
С качественным покрытием	1			
	2			
	3			

6. Далее опыты провести для обратной полярности тока, а затем ещё при двух значениях сварочного тока испытать электроды с тонким покрытием, затем – с толстым.

7. Построить график зависимости среднего значения длины дуги от силы сварочного тока для трех типов электродов.

Анализируя данные опытов, сделать выводы о влиянии на стабильность горения дуги силы тока и типа электродного покрытия.

4. Содержание отчета

1. Тема и цель работы.
2. Описание строения сварочной дуги постоянного и переменного тока.
3. Схема опыта, применяемого при изучении стабильности горения дуги, и табл. 1.2. с результатами опытов.
4. Результаты опытов в виде таблицы и графиков.
5. Выводы по работе с объяснением влияния покрытия электрода и его состава, а также величины и полярности сварочного тока на стабильность горения дуги.

5. Контрольные вопросы

1. Дайте определение сварочной дуге.
2. В чем заключается зажигание сварочной дуги?
3. Объясните, как происходит ионизация межэлектродного пространства?
4. Опишите строение сварочной дуги.
5. Как распределяется падение напряжения в дуговом промежутке?
6. Что вызывает падение напряжения в катодных и анодных областях дуги?
7. Какие зависимости падения напряжения в межэлектродном промежутке Вы знаете? Объясните эти зависимости.
8. Какие физические процессы протекают при горении сварочной дуги постоянного тока?
9. Рассчитайте значение падения напряжения на дуге при её длине 4 мм.
10. Дайте определение статической ВАХ сварочной дуги. Объясните причины возникновения трёх участков ВАХ сварочной дуги.
11. Напишите формулу падения напряжения столба дуги и на её основе объясните характер изменения ВАХ дуги.
12. В чем заключаются особенности горения сварочной дуги переменного тока?
13. Какие способы повышения стабильности сварочной дуги переменного тока Вы знаете и, какие из них используются при ручной дуговой сварке?
14. Почему электроды с качественным покрытием обеспечивают большую стабильность горения дуги?
15. Почему стабильность горения дуги возрастает с увеличением сварочного тока?
16. Для чего предназначено тонкое покрытие электродов?
17. Какие функции выполняет качественное покрытие электродов?
18. Какие компоненты входят в состав тонких и качественных покрытий?