

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Факультет «Материаловедение и металлургические технологии»
Кафедра «Оборудование и технология сварочного производства»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА
Рецензент

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

должность, место работы

_____ М.А. Иванов

« ____ » _____ 2019 г.

подпись

И.О. Фамилия

« ____ » _____ 2019 г.

Исследование влияния скорости подачи сварочной проволоки, напряжения на дуге и вылета электрода на силу сварочного тока

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
(МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ)
ЮУрГУ-15.04.01.2019. ПЗ ВКР**

Руководитель ВКР

Автор ВКР

магистрант группы П-246

К.т.н. доцент каф. ОиТСП
Должность

Фоменко К.С.

_____ Зайцев Н.Л.
Подпись И.О., Фамилия

« ____ » _____ 2019 г.

« ____ » _____ 2019 г.

Нормоконтролёр

старший преподаватель

_____ Ю.В. Безганс

« ____ » _____ 2019 г.

Челябинск, 2019

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.04.01.2019.196.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 4 |

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|----|
| ВВЕДЕНИЕ..... | 5 |
| 1 ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ..... | 6 |
| 2 МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ..... | 12 |
| 3 УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ ВЫПРЯМИТЕЛЯ ВДУ-1201..... | 13 |
| 4 УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ АВТОМАТА ТС-17МУ..... | 17 |
| 5 ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОВЕДЕННЫХ ОПЫТОВ..... | 27 |
| 6 ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ..... | 39 |
| БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК..... | 40 |

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.04.01.2019.196.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 5 |

ВВЕДЕНИЕ

Современное развитие сварочного производства на территории Российской Федерации требует постоянного совершенствования расчетных методик прочностных характеристик, режимов сварки, производительности. Это обусловлено цифровизацией современных производств и университетов.

Правильно подобранная методика расчета позволяет без высоких материальных затрат на практические результаты при сварке натуральных образцов и изделий произвести расчет полученной геометрии шва, глубины проплавления, прочностных характеристик в компьютерной программе. Однако, большинство программ имеют в своем корне наиболее широко распространенную методику расчета режимов сварки, разработанную Акуловым А. И.

В данной методике расчеты производятся в зависимости от площади сечения наплавленного металла. В ней дана прямая зависимость силы сварочного тока, напряжения на дуге и скорости подачи проволоки от коэффициента расплавления и наоборот.

Практическое применение данной методики наиболее подходит для расчета режимов автоматической сварки под слоем флюса, так как в данном случае не учитываются потери металла на угар и разбрызгивание. Широко данная методика применялась в 70...90-х годах двадцатого века. В начале 2000-ых на рынок Российской Федерации вышли новые источники сварочного тока, основанные на импульсных процессах. Поэтому, применение указанной выше методики трудно обеспечить при расчетах режимов сварки.

В выпускной работе проводится рассмотрение существующей методики с постановкой эксперимента для определения режимов сварки при теоретическом расчете и практическом.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.04.01.2019.196.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 6 |

1 ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основная задача, возникающая при разработке технологии изготовления сварных конструкций, сводится к определению такого сочетания параметров режима сварки, которые обеспечивали бы получение швов заданных размеров, формы и качества. В частности, при стыковой сварке встык пластин толщиной S с полным их проваром с двух сторон за один проход необходимо, чтобы глубина провара с каждой стороны была больше половины толщины пластин на величину перекрытия швов $f \approx 2$ мм. При этом размеры шва (ширина B , высота валика C валика и величины коэффициентов $\Psi_{ПР}$ и $\Psi_{В}$) удовлетворяли нормативным требованиям: $0,8 < \Psi_{ПР} < 4$, а $7 < \Psi_{В} < 10$. Эскиз соединения показан на рисунке 1.

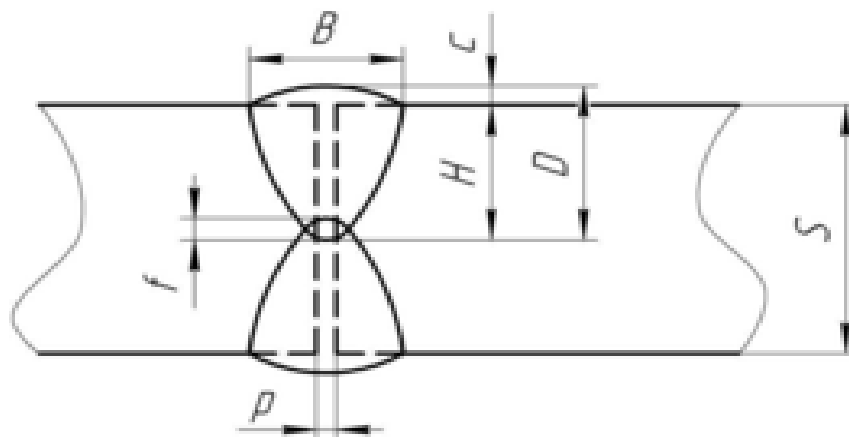


Рисунок 1.1 – Эскиз стыкового соединения

Для решения этой задачи необходимо располагать соответствующими методиками расчёта. Наибольшее применение на практике нашла методика [1].

В отмеченной методике при расчете размеров стыковых швов используют схему мощного быстродвижущегося источника тепла [2]. Согласно этой схеме квадрат расстояния до изотермы плавления $r_{Пл}^2$ определяется по формуле (1):

$$r_{Пл}^2 = \frac{2q_{П}}{\pi e C \gamma T_{Пл}} \quad (1)$$

где $q_{П}$ – погонная энергия, кал/см;

π и e – числа;

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.04.01.2019.196.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 7 |

$C\gamma$ – удельная объемная теплоемкость металла, кал/см³ °С;

$T_{\text{пл}}$ – температура плавления свариваемого металла, °С.

Согласно формуле (1), изотерма плавления в поперечном сечении представляет собой полуокружность радиуса $r_{\text{пл}}$. Соответственно, $\Psi_{\text{пр}} = 2$, а площадь провара (площадь, ограниченная изотермой плавления $T_{\text{пл}}$) определяется по формуле (2):

$$F_{\text{пл}} = \frac{q_{\text{п}}}{eC\gamma T_{\text{пл}}} \quad (2)$$

В действительности, фактическая форма провара при механизированных способах сварки в большинстве случаев отличается от полуокружности следующим образом: при больших значениях силы сварочного тока и невысоких напряжениях $\Psi_{\text{пр}} < 2$, при малых значениях тока и высоких напряжениях $\Psi_{\text{пр}} > 2$. Далее методика базируется на предположении, что фактическая форма провара представляет собой полуэллипс, площадь которого равна площади полуокружности, вычисленной по формуле (2). Исходя из этого, получают следующее уравнение, показанное в формуле (3):

$$H_{\text{пр}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{q_{\text{п}} \eta}{\pi e C \gamma T_{\text{пл}} \Psi_{\text{пр}}}} = A \sqrt{\frac{q_{\text{п}} \eta}{\Psi_{\text{пр}}}} \quad (3)$$

где $\Psi_{\text{пр}}$ – величина коэффициента формы проплавления;

η – эффективный КПД дуги;

$A = 2 \sqrt{\frac{1}{\pi e C \gamma T_{\text{пл}}}}$ – коэффициент, зависящий только от теплофизических свойств сварочной проволоки и свариваемых деталей.

Величину коэффициента формы проплавления $\Psi_{\text{пр}}$ рекомендуется определять по формуле (4):

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.04.01.2019.196.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 8 |

$$\Psi_{\text{ПР}} = \frac{k'(19-0,01I_{\text{СВ}})d_{\text{Э}}U_{\text{Д}}}{I_{\text{СВ}}}, \quad (4)$$

где k' – безразмерный коэффициент.

Величину коэффициента k' при плотности тока $j < 120 \text{ А/мм}^2$ и в случае сварки постоянным током обратной полярности, определяют по формуле (5):

$$k' = 0,367j^{0,1925}, \quad (5)$$

При сварке постоянным током прямой полярности величину коэффициента k' при плотности тока $j < 120 \text{ А/мм}^2$ определяют по формуле (6):

$$k' = \frac{2,82}{j^{0,1925}}, \quad (6)$$

При $j > 120 \text{ А/мм}^2$ величина k' остается неизменной (для постоянного тока обратной полярности $k'=0,92$, прямой полярности $k'=1,12$). При сварке переменным током во всем диапазоне изменения плотностей тока $k' = 1 = \text{const}$.

Ширину шва определяют по формуле (7):

$$B = \Psi_{\text{ПР}} H_{\text{ПР}}, \quad (7)$$

Выполненная нами экспериментальная проверка показала, что расчёты конфигурации швов по формулам (3)...(7) во многих случаях не совпадают с экспериментальными данными. При этом выявилась сложность с заданием в расчётах величины эффективного коэффициента полезного действия η .

В технологических расчётах, наряду с размерами зоны проплавления основного металла, требуется рассчитать площадь поперечного сечения наплавляемого металла, исходя из которой определяют высоту наплавленного валика C и коэффициент формы усиления шва $\Psi_{\text{В}}$. Согласно [1], площадь

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.04.01.2019.196.00 ПЗ | Лист |
| | | | | | | 9 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

поперечного сечения наплавляемого металла рассчитывают по формуле (8):

$$F_H = \frac{\alpha_p I_{CB} (1 - \psi_{II})}{3600 \gamma V_{CB}}, \quad (8)$$

где α_p – коэффициент расплавления;

ψ_{II} – коэффициент потерь металла на разбрызгивание и угар.

Коэффициент расплавления α_p определяется по формуле (9):

$$\alpha_p = \alpha'_p + \Delta\alpha_p, \quad (9)$$

где α'_p – составляющая, обусловленная тепловложением дуги, г/Ач;

$\Delta\alpha_p$ – составляющая, обусловленная тепловложением вследствие предварительного подогрева вылета электрода протекающим по нему током, г/Ач.

В соответствии с [1], при сварке постоянным током обратной полярности составляющую коэффициента расплавления α'_p определяют по формуле (10):

$$\alpha'_p = 11,6 \pm 0,4, \quad (10)$$

При сварке постоянным током прямой полярности составляющую коэффициента расплавления α'_p определяют по формуле (11):

$$\alpha'_p = 6,3 + \frac{0,0702 I_{CB}}{d_э^{1,035}}, \quad (11)$$

При сварке переменным током составляющую коэффициента расплавления α'_p определяют по формуле (12):

$$\alpha'_p = 7 + \frac{0,0702 I_{CB}}{d_э^{1,35}}, \quad (12)$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.04.01.2019.196.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 10 |

Величину второй составляющей $\Delta\alpha_p$ вычисляют по формуле (13):

$$\alpha'_p = \frac{3600Q_{\text{III}}}{q_{\text{Э}} I_{\text{СВ}}}, \quad (13)$$

где Q_{III} – количество теплоты, расходуемое на предварительный подогрев вылета электродной проволоки, протекающим по нему током, кал;

$q_{\text{Э}} \approx 325$ – количество теплоты необходимое для расплавления 1 г электродной проволоки, кал/г.

Значение Q_{III} рассчитывают по формуле (14):

$$Q_{\text{III}} = 0,1884j^2 \rho_0 d_{\text{Э}}^2 \left(\frac{V_{\text{Э}}}{a\alpha\beta} (e^{-p_2 l} - 1) - \frac{\alpha(T_{\text{пл}} - T_0)}{p_1} \right), \quad (14)$$

где j – плотность тока в электроде, А/см²;

$\rho_0 = 0,000014$ – удельное электрическое сопротивление электродной проволоки при нуле градусов, Ом/см;

$d_{\text{Э}}$ – диаметр электродной проволоки, см;

$V_{\text{Э}}$ – условная скорость подачи электрода, см/с;

$a = 0,08$ – коэффициент температуропроводности, см²/с;

$\alpha = 0,0083$ – коэффициент изменения электрического сопротивления с изменением температуры, °С⁻¹;

β – коэффициент, ед;

l – вылет электродной проволоки, см;

$T_{\text{пл}} = 1500$ – температура плавления проволоки, °С;

$T_0 = 20$ – начальная температура проволоки, °С;

p_1 и p_2 – коэффициенты, ед.

Коэффициент β рассчитывается по формуле (15):

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.04.01.2019.196.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 11 |

$$\beta = \frac{0,24j^2 \rho_0}{\alpha \gamma}, \quad (15)$$

где $\gamma = 1,25$ – объемная теплоемкость, кал/см³.

Условную скорость подачи проволоки рассчитывают по формуле (16):

$$V_{\text{Э}} = \frac{4\alpha_p I_{\text{СВ}}}{3600\pi \gamma d_{\text{Э}}^2}. \quad (16)$$

Коэффициенты p_1 и p_2 рассчитывают по формуле (17):

$$\begin{cases} p_1 = -\frac{V_{\text{Э}}}{2a} - \sqrt{\frac{V_{\text{Э}}^2}{4a^2} - \alpha\beta}; \\ p_2 = -\frac{V_{\text{Э}}}{2a} + \sqrt{\frac{V_{\text{Э}}^2}{4a^2} - \alpha\beta}. \end{cases} \quad (17)$$

Достоинством формулы (14) является то, что в ней учитываются значения теплофизических величин, в частности, значение удельного электрического сопротивления электродной проволоки. Однако, следует отметить сложность использования этой формулы. Кроме того, экспериментально определить точность оценки величин $\Delta\alpha_p$ по формулам (13), (14) практически невозможно.

К сожалению, нам не удалось найти в литературе других сведений о величинах α_p в зависимости параметров режима сварки. Ряд проведенных нами экспериментов выявил существенное несовпадение коэффициента α_p с рассчитанными по формулам (9)...(14).

Учитывая тот факт, что правильность расчёта конфигурации сварного шва во многом зависит от правильности расчёта величины коэффициента расплавления, цель настоящей работы состояла в экспериментальном исследовании зависимости коэффициента расплавления α_p от параметров режима сварки (силы сварочного тока $I_{\text{СВ}}$, напряжения на дуге $U_{\text{д}}$, скорости подачи проволоки $V_{\text{ПП}}$, вылета

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | | 12 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | | | | | |

электрода l_3).

2 МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Установление взаимосвязи между током сварки I_{CB} и такими параметрами режима сварки, как скорость подачи проволоки $V_{ПП}$, напряжение на дуге U_D и диаметр электродной проволоки d_3 позволит наиболее точно определить значения коэффициентов расплавления α_p сварочной проволоки.

Для определения этой взаимосвязи, мы проводили наплавку на постоянном токе прямой и обратной полярности проволоками Св-08А и Св-08Г2С диаметром 3 мм под флюсом Ан-348-А сварочным трактором ТС-17МУ с постоянной скоростью подачи проволоки. Источником тока служил сварочный выпрямитель ВДУ-1200-1. Вылет электрода задавали равным 30, 40, 50 и 60 мм. Напряжение на дуге задавали равным 30, 35, 40, 45 и 50 В. Скорость подачи сварочной проволоки для каждого напряжения на дуге изменяли в пределах от 52 до 350 м/ч.

Сварочный трактор ТС-17МУ с постоянной скоростью подачи проволоки выбран из соображений несложного и точного расчёта значения коэффициента расплавления по формуле (18):

$$\alpha_p = \frac{\pi d_3^2 V_{ПП} \gamma}{I_{CB}}, \quad (18)$$

где d_3 – диаметр электрода, см²;

$V_{ПП}$ – скорость подачи проволоки, см/час;

γ – плотность металла, г/см³.

В качестве источника сварочного тока использовали сварочный выпрямитель ВДУ-1201-УЗ. При выполнении экспериментов перед началом сварки задавали на источнике тока требуемое напряжение, а на сварочном автомате – скорость подачи сварочной проволоки. С помощью кинокамеры JVC фиксировали изменения силы сварочного тока I_{CB} и напряжение U_D в процессе протекания

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | | 13 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | 15.04.01.2019.196.00 ПЗ | | | | | |

сварки. Величины $I_{св}$ и U_d определяли как средние за время сварки значения.

Результаты записи показали, что за время сварки наблюдались колебания сварочного тока в пределах примерно 50 А, т.е. колебания тока происходили с некоторыми отклонениями относительно среднего значения примерно на 25 А в ту и другую сторону. Что же касается изменения напряжения, то тут колебания вообще отсутствовали.

3 УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ ВЫПРЯМИТЕЛЯ ВДУ-1201

Выпрямитель сварочный типа ВДУ-1201-У3 предназначен для механизированной сварки постоянным током в среде углекислого газа, под флюсом и для ручной дуговой сварки штучными электродами. Выпрямитель питается от трёхфазной сети с напряжением 380 В при частоте 50 Гц.

Выпрямитель предназначен для работы в закрытых помещениях при соблюдении следующих условий:

- температура окружающей среды от $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- относительная влажность не более 80 % при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Не допускается использование выпрямителя для работы в среде насыщенной пылью, во взрывоопасной среде, а также среде содержащей едкие пары и газы, разрушающие металлы и изоляцию.

Основные параметры выпрямителя ВДУ-1201-У3 показаны в таблице 3.1

Таблица 3.1 – Основные параметры выпрямителя

| Наименование параметров | Тип ВАХ | |
|--|------------|----------|
| | жёсткие | падающие |
| Номинальный сварочный ток, А | 1250 | |
| Потребляемая мощность, кВА | 135 | |
| Номинальная продолжительность работы (ПВ), % | 100 | |
| Пределы регулирования сварочного тока, А | 300...1250 | |
| Пределы регулирования рабочего напряжения, В | 24...66 | 26...60 |

Продолжение таблицы.

| | | |
|---|-----|----|
| Номинальное рабочее напряжение на зажимах выпрямителя при номинальном токе, В | 66 | 60 |
| К.П.Д., %, не менее | 83 | |
| Напряжение холостого хода В, не более | 100 | |

Выпрямитель ВДУ-1201-У3 показан на рисунке 3.1.

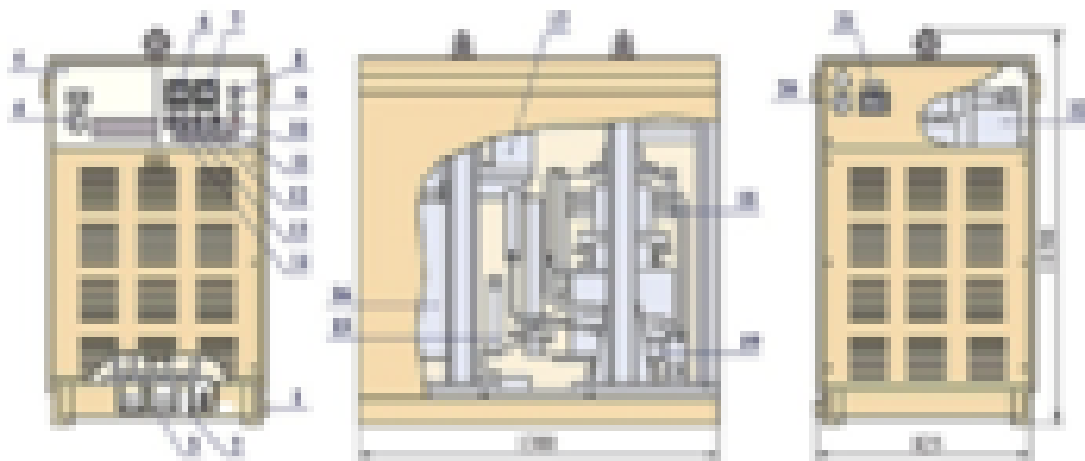


Рисунок 3.1 – Выпрямитель ВДУ-1201-У3

- 1 – Зажим для заземления; 2 – Зажим для подключения «+»; 3 – Зажим для подключения «-»; 4 – Разъём для подключения пульта управления автоматом ТС-17МУ; 5 – Блок управления; 6 – Вольтметр; 7 – Амперметр; 8 – Сигнальная лампочка; 9 – Стоповая кнопка; 10 – Пусковая кнопка; 11 – Переключатель внешних характеристик; 12 – Резистор регулирования напряжением тока; 13 – Переключатель местного включения – выключения сварочного тока; 14 – Переключатель места управления; 15 – Силовой блок тиристорov; 16 – Вентилятор; 17 – Блок защиты; 18 – Сглаживающий дроссель; 19 – Силовой трансформатор; 20 – Разъем для подключения к питающей сети; 21 – Автоматический выключатель; 22 – Панель аппаратуры

Плавное регулирование напряжения осуществляется резистором 12 на блоке управления. Зажим для заземления (1) расположен на основании выпрямителя. Включение выпрямителя в сеть и его защита от коротких замыканий осуществляется автоматическим выключателем (21). Для подключения питающей

сети имеется разъём (20), расположенный на задней стенке выпрямителя.

Для подсоединения сварочного кабеля с лицевой стороны выпрямителя внизу имеются три зажима, обозначенные: два знаком минус и один знаком плюс. Дополнительный зажим (3) используется при сварке на токах до 500 А. С лицевой стороны выпрямителя расположен разъём (4) для подключения пульта управления автоматом ТС-17МУ.

Блок управления (5) установлен в выпрямителе с лицевой стороны и соединяется со схемами двумя разъёмами. На лицевой стороне блока управления установлены пусковая кнопка (10), стоповая кнопка (9), амперметр сварочного тока (7), вольтметр сварочного тока (6). Сигнальная лампочка (8), указывающая на наличие напряжения на выпрямителе, резистор регулирования напряжением тока (12), переключатель внешних характеристик (11), переключатель местного включения (положение 1), выключения (положение 2) сварочного тока (13), переключатель места управления (14).

Положение рукоятки резистора (12) до упора в сторону обратную направлению вращения часовой стрелки (крайнее левое положение) соответствует минимальному значению выпрямленного напряжения и, вообще говоря, сварочного тока. Поворот рукоятки по направлению вращения часовой стрелки (вправо) соответствует увеличению напряжения.

Переключатель внешних характеристик (11) служит для переключения выпрямителя на работу при падающих (положение 1) или жёстких внешних характеристиках (положение 2).

Переключатель места управления (13) служит для включения выпрямителя на местное (положение 1) или дистанционное управление (положение 2). Правое положение соответствует местному регулированию, левое положение – дистанционному. В последнем случае резистор регулирования напряжения – тока оказывается выключенным и регулирование производится потенциометром, установленным на головке автомата.

Меры безопасности:

– напряжение сети является опасным, поэтому выпрямитель должен быть

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | | 16 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | 15.04.01.2019.196.00 ПЗ | | | | | |

надёжно заземлён;

– запрещается работа выпрямителя без боковых листов, крыши и перемещение выпрямителя без отключения его от сети;

– при необходимости снятия боковых листов необходимо прежде отключить выпрямитель от сети и выключить автоматический выключатель (21). При этом следует помнить, что при одном выключении выключателя (21) без отключения выпрямителя от сети зажимы разъёма, входные зажимы автоматического выключателя (21) остаются под напряжением и прикасаться к ним опасно;

– не разрешается применять сварочные провода с повреждённой изоляцией.

Перед пуском выпрямителя в работу следует:

– очистить выпрямитель от пыли и загрязнений;

– проветрить мегомметром на 500 В сопротивление изоляции относительно корпуса. Сопротивление изоляции первичного и вторичного контуров должно быть не менее 2,5 мОм. В случае снижения сопротивления изоляции выпрямитель следует просушить;

– проверить состояние приборов, электрических проводов, контактов;

– проверить заземление выпрямителя. Включение выпрямителя без заземления недопустимо;

– проверить соответствие напряжения сети напряжению, указанному на заводском щитке выпрямителя;

– рукоятку автоматического выключателя установить в выключенное положение;

– подключить выпрямитель к сети;

– убедиться в том, что концы рабочего кабеля не касаются один другого и металлической поверхности выпрямителя.

Порядок работы:

– установить рукоятку автоматического выключателя на задней стенке выпрямителя в положение «Включено»;

– установить переключатель вида характеристик на лицевой панели выпрямителя на необходимый вид характеристик;

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | | 17 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | 15.04.01.2019.196.00 ПЗ | | | | | |

- установить переключатель места регулирования в одно из двух положений: «Местное» или «Дистанционное»;
- включить выпрямитель кнопкой «Пуск»;
- убедиться, что вентилятор (16) вращается в нужном направлении. Воздух должен входить со стороны задней решётки и выбрасываться с противоположной стороны. В случае неправильного направления вращения вентилятора необходимо поменять местами два любых провода питающей сети;
- при местном регулировании включение и выключение сварочного тока производить переключателем (13);
- резистором регулирования напряжения и тока (12) подобрать требуемый режим сварки;
- после окончания работы выключить выпрямитель нажатием кнопки (9) «Стоп»;
- выключить автоматический выключатель (21).

Перед началом сварки устанавливали на вольтметре (6) пусковой кнопкой (10) требуемое напряжение на дуге от 30 до 59 В. Сила сварочного тока определяется скоростью подачи электродной проволоки. В процессе протекания сварки показания амперметра и вольтметра фиксировали на кинокамеру. Поскольку напряжение и сварочный ток имели некоторое колебание в процессе сварки величины U_d и $I_{св}$ определяли, как среднюю за время сварки.

4 УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ АВТОМАТА ТС-17МУ

Сварочный трактор ТС-17МУ предназначен для сварки под флюсом соединений встык с разделкой и без разделки кромок, угловых швов вертикальным и наклонным электродом, а также соединений внахлёстку.

Электрическая схема трактора ТС-17МУ работает по принципу постоянной скорости подачи сварочной проволоки, не зависящей от напряжения дуги. Эти автоматы нашли широкое применение благодаря открытому инженером В.И. Дятловым явлению «саморегулирование дуги». В них сварочная проволока

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.04.01.2019.196.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 18 |

подаётся в зону горения дуги с постоянной, не зависящей от напряжения и длины дуги скоростью.

Эти автоматы имеют некоторые ограничения, так как:

- они не обеспечивают устойчивого процесса сварки при значительных падениях напряжения в силовой сети;
- рекомендуемые для них режимы сварки имеют более узкие пределы, чем для головок с автоматическим регулированием;
- они не могут восстановить заданный режим сварки при значительных изменениях вылета электрода, заметных отклонениях диаметра электрода, изменениях химического состава и грануляции флюса.

В сочетании работы сварочного трактора с выпрямителем ВДУ-1201-УЗ указанные ограничения не оказывают заметного влияния на процесс сварки, так как сварочный выпрямитель поддерживает постоянную (заданную) величину напряжения на дуге.

В комплект сварочного трактора ТС-17МУ входит сварочный автомат (собственно трактор), аппаратный шкаф и набор сменных узлов и деталей (сменных шестерён) и соединительных проводов. Самоходная тележка и механизм подачи сварочной проволоки смонтированы в один блок, который является несущим корпусом трактора.

Устройство сварочного трактора ТС-17МУ показано на рисунке 4.1.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.04.01.2019.196.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 19 |

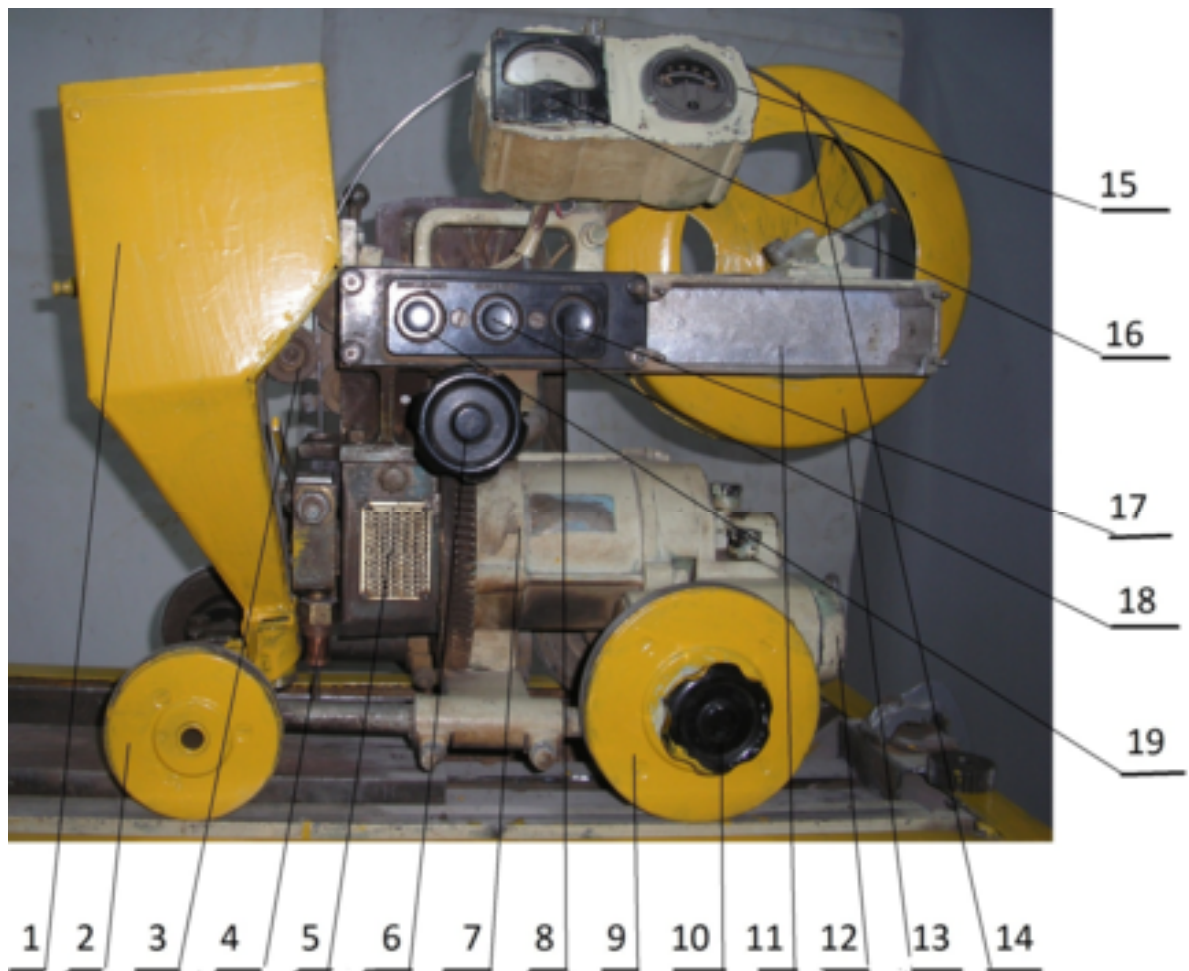


Рисунок 4.1 – Устройство сварочного трактора ТС-17МУ:

1– Бункер с флюсом; 2 – Холостой бегунок; 3 – Гладкий ролик поджатия сварочной проволоки к подающему ролику с поперечной насечкой; 4 – Корпус токосъёмного мундштука; 5 – Замедляющий редуктор механизма подачи сварочной проволоки; 6 – Маховичок поворота головки трактора вокруг оси электродвигателя; 7 – Электродвигатель; 8 – Кнопочный пульт управления;

9 – Задние приводные бегунки с резиновой шиной; 10 – Маховичок фрикционной муфты включения ведущих бегунков; 11 – Место установки дополнительного кнопочного пульта для управления механизмами сварочных стендов; 12 – Замедляющий редуктор ходового механизма; 13 – Кассета с электродной проволокой; 14 – Сварочная проволока; 15 – Амперметр; 16 – Вольтметр; 17 – Кнопка инициации начала процесса сварки; 18 – Кнопка «Вниз – Стоп II»; 19 – Кнопка «Вверх – Стоп I».

Составной частью блока является асинхронный двигатель (7) трёхфазного

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.04.01.2019.196.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 20 |

тока, у которого на месте торцевых крышек корпуса установлены редуктор механизма подачи сварочной проволоки (5) и редуктор ходового механизма (12).

Необходимые скорости подачи сварочной проволоки и сварки устанавливаются сменными ведущей и ведомой зубчатыми шестернями с различным соотношением числа зубьев по данным таблиц 1 и 2.

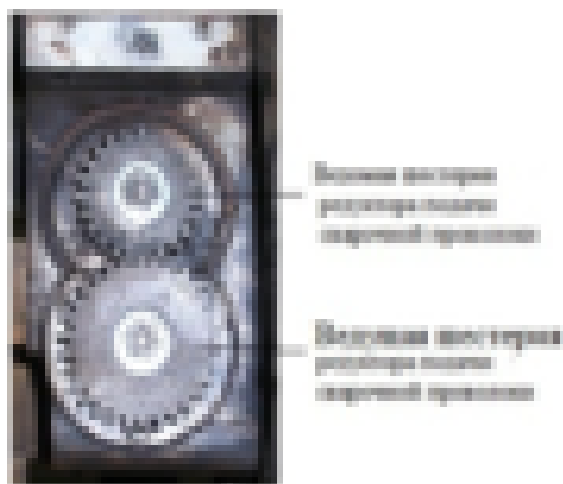


Рисунок 4.2 – Редуктор скорости подачи сварочной проволоки



Рисунок 4.3 – Редуктор ходового механизма

Скорости подачи электродной проволоки показаны в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Скорости подачи электродной проволоки

| Параметр | Значение | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|----------|----|------|------|------|----|------|----|-----|-----|-----|
| Скорость подачи электрода, м/ч | 52 | 57 | 62,5 | 68,5 | 74,5 | 81 | 87,5 | 95 | 103 | 111 | 120 |
| Число зубьев ведущей шестерни | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| Число зубьев ведомой шестерни | 39 | 38 | 37 | 36 | 35 | 34 | 33 | 32 | 31 | 30 | 29 |

Продолжение таблицы.

| | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Скорость подачи электрода, м/ч | 129 | 139 | 150 | 162 | 175 | 189 | 204 | 221 | 239 | 250 | 282 |
| Число зубьев ведущей шестерни | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 |
| Число зубьев ведомой шестерни | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 |
| Скорость подачи электрода, м/ч | 307 | 335 | 367 | 403 | - | - | - | - | - | - | - |
| Число зубьев ведущей шестерни | 36 | 37 | 38 | 39 | - | - | - | - | - | - | - |
| Число зубьев ведомой шестерни | 17 | 16 | 15 | 14 | - | - | - | - | - | - | - |

Скорости сварки показаны в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Скорости сварки

| Параметр | Значение | | | | | | | | | |
|-------------------------------|----------|------|------|------|------|----|------|------|-----|-----|
| Скорость сварки, м/ч | 16 | 18 | 19,5 | 21,5 | 23 | 25 | 27,5 | 29,5 | - | - |
| Число зубьев ведущей шестерни | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | - | - |
| Число зубьев ведомой шестерни | 39 | 38 | 37 | 36 | 35 | 34 | 33 | 32 | - | - |
| Скорость сварки, м/ч | 32 | 34,5 | 37,5 | 40,5 | 43,5 | 47 | 50,5 | 54,5 | - | - |
| Число зубьев ведущей шестерни | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | - | - |
| Число зубьев ведомой шестерни | 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | - | - |
| Скорость сварки, м/ч | 59 | 63,5 | 69 | 74,5 | 80 | 88 | 96 | 104 | 114 | 126 |
| Число зубьев ведущей шестерни | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 |

Продолжение таблицы.

| | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Число зубьев ведомой шестерни | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 |
|----------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|

Схема подачи сварочной проволоки показана на рисунке 4.4.

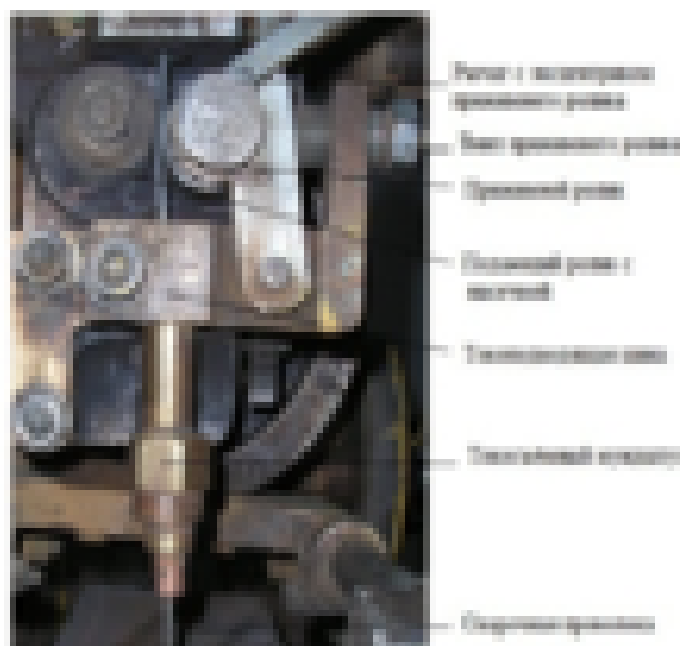


Рисунок 4.4 – Механизм подачи сварочной проволоки

Редуктор механизма подачи сварочной проволоки вращает с заданной скоростью подающий ролик с поперечной насечкой. Проволока прижимается к подающему ролику прижимным роликом с помощью прижимного винта и подаётся в токосъёмный мундштук, установленный ниже подающих роликов. Трактор комплектуется двумя мундштуками. Для сварки проволоками 3...5 мм устанавливают бронзовый или медный цилиндрический мундштук, показанный на рисунке 4.5.

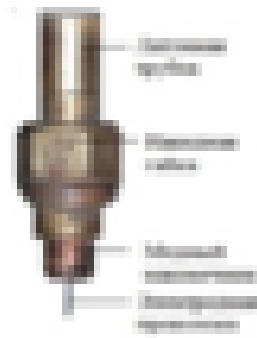


Рисунок 4.5 – Цилиндрический мундштук

Мундштук состоит из латунной токосъёмной трубки, накидной гайки, внутрь которой вставляется медный наконечник с отверстием диаметром равным диаметру сварочной проволоки. Для сварки тонкой проволокой диаметром 1,6...2 мм применяют специальный эксцентрический трубчатый мундштук, показанный на рисунке 4.6.

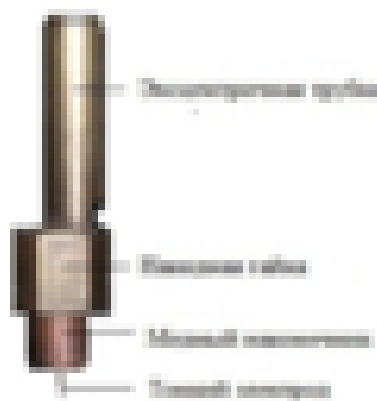


Рисунок 4.6 – Эксцентрический трубчатый мундштук

Снизу электродвигателя закреплён литой траверс, в который вставлены две выдвижные штанги с холостыми бегунками. Ось приводных бегунков выведена на корпус редуктора по обе стороны трактора. При перекачивании трактора вручную для установки его в начале сварки ось приводных роликов отсоединяется от редуктора фрикционной муфтой с помощью маховичка, установленного снаружи колёс. Холостые и приводные бегунки изолированы от корпуса и имеют резиновые шины, что обеспечивает хорошее их сцепление с поверхностью металла. Для перемещения трактора по направляющей линейке на правых роликах предусмотрены канавки.

Поверх электродвигателя расположен поворотный кронштейн, для вращения которого служит червячный механизм, показанный на рисунке 4.7.



Рисунок 4.7 – Механизм поворота мундштука

При повороте маховичка червяк работает в паре с неподвижным червячным сектором, жёстко закреплённым на корпусе электродвигателя. Это вызывает поворот всего кронштейна на угол до 45° от вертикали, что позволяет выполнять сварку наклонным электродом угловых швов без установки изделия «в лодочку».

Кроме того, поворотным механизмом пользуются для ручной корректировки направления электрода по шву.

На поворотном кронштейне укреплён пульт управления трактором с тремя кнопками, который показан на рисунке 4.8.



Рисунок 4.8 – Пульт управления трактором ТС-17М

Левая кнопка «Стоп-Верх» служит для подачи электрода вверх, средняя кнопка «Стоп-Вниз» – для подачи электрода вниз при настройке сварочного

трактора. Крайняя правая кнопка «Инициация сварки» служит для начала процесса сварки. Левая и средняя кнопки одновременно являются стоповыми. При нажатии любой из них сварка прекращается.

На кронштейне размещается кассета (13) со сварочной проволокой и трёхроликковый правильный механизм для правки проволоки диаметром 3...5 мм. При сварке тонкой проволокой диаметром 1,6...2 мм правка не требуется. Устройство правильного механизма представлено на рисунке 4.9.

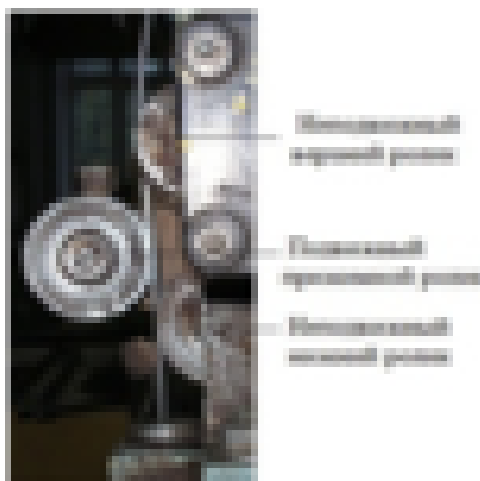


Рисунок 4.9 – Правильный механизм

Правильный механизм сварочной проволоки состоит из двух неподвижных и одного подвижного (прижимного) ролика, который с помощью эксцентрика через специальный рычаг (на рисунке не виден) прижимает проволоку к неподвижным роликам. Положение прижимного ролика регулируют таким образом, чтобы после прохождения правильного механизма сварочная проволока входила в токосъёмный мундштук прямолинейной.

В шкафу управления размещены силовой контактор, трансформатор тока, два понижающих трансформатора, промежуточное реле, пакетный выключатель и предохранитель.

Порядок работы при выполнении сварки трактором следующий. При включении сетевого рубильника и пакетного выключателя на шкафу управления трактор включается в сеть. При отжатом фрикционе трактор устанавливают в начале шва. Затем с помощью кнопки «Стоп-Вниз» подают сварочную проволоку до контакта со свариваемым изделием, как показано на рисунке 4.10.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.04.01.2019.196.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 26 |



Рисунок 4.10 – Наведение контакта электрода с деталью

После этого открывают заслонку бункера и через ссыпной патрубок насыпают горку флюса вокруг конца электродной проволоки. Затем включают фрикционное сцепление трактора и нажимают кнопку «Инициация сварки». В процессе движения трактора заслонка остаётся открытой и флюс равномерно закрывает зону сварки.

Электрическая и кинематическая схемы трактора ТМ-17МУ устроены таким образом, что вначале при нажатии кнопки «Инициация сварки» электродвигатель начинает поднимать проволоку вверх, отчего возникает дуга. При отпускании кнопки «Инициация сварки» электродвигатель изменяет направление вращения и начинает подавать сварочную проволоку вниз в зону горения дуги, что обеспечивает устойчивое протекание процесса сварки.

Выключение трактора осуществляют в два приёма. Сначала нажимают кнопку «Вниз – Стоп I». При этом движение трактора и подача проволоки прекращаются, а дуга продолжает гореть до естественного обрыва, заплывая кратер в конце шва. Затем нажимают кнопку «Вверх – Стоп II» и отпускают кнопку «Вниз – Стоп I». При удерживании кнопки «Вверх – Стоп II» проволока поднимется вверх из расплавленного шлака. При отпускании кнопки «Вверх – Стоп II» схема приходит в исходное состояние. После этого отключают фрикционное сцепление, трактор отводят в сторону, отбивают шлаковую корку и убирают флюс. Засыпка флюса вокруг электрода показана на рисунке 4.11.



Рисунок 4.11 – Засыпка флюса вокруг электрода

5 ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОВЕДЕННЫХ ОПЫТОВ

По результатам обработки и аппроксимации выполненных измерений получены следующие зависимости силы сварочного тока $I_{СВ}$, коэффициентов α_P от скорости подачи электродной проволоки диаметром 3 мм с постоянным вылетом электрода $l_3 = 30$ мм и напряжения дуги.

5.1. Зависимости $I_{СВ} = f(V_{ПП})$ для постоянного тока обратной полярности

Электрод $d_3 = 3$ мм, вылет электрода $l_3 = 30$ мм, напряжение $U_d = 30$ В. Для данных параметров получены следующие зависимости (формулы (18) и (19)):

$$I_{СВ} = -16,28 \left(\frac{V_{ПП}}{50} \right)^2 + 234,14 \frac{V_{ПП}}{50} + 79,7, \text{ А.} \quad (18)$$

$$\alpha_P = 0,0619 \left(\frac{V_{ПП}}{50} \right)^2 + 1,3833 \frac{V_{ПП}}{50} + 9, \text{ г/Ач.} \quad (19)$$

Уравнения для определения $I_{СВ}$ и α_P , наверное, лучше представить без деления $V_{ПП}/50$ и они будут иметь другой вид (формулы (18.1) и (19.1)):

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | | 28 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | 15.04.01.2019.196.00 ПЗ | | | | | |

$$I_{CB} = -65,12 \cdot 10^{-4} V_{III}^2 + 4,6828 V_{III} + 79,7, \text{ А.} \quad (18.1)$$

$$\alpha_p = 24,76 \cdot 10^{-6} V_{III}^2 + 27,666 V_{III} + 9, \text{ г/Ач.} \quad (19.1)$$

Электрод $d_{\text{Э}} = 3$ мм, вылет электрода $l_{\text{Э}} = 30$ мм, напряжение $U_{\text{Д}} = 35$ В (формулы (20) и (21)):

$$I_{CB} = -17,88 \left(\frac{V_{III}}{50} \right)^2 + 258 \frac{V_{III}}{50} + 67,7, \text{ А.} \quad (20)$$

$$\alpha_p = 0,07 \left(\frac{V_{III}}{50} \right)^2 + 1,08 \frac{V_{III}}{50} + 8,1, \text{ г/Ач.} \quad (21)$$

Электрод $d_{\text{Э}} = 3$ мм, вылет электрода $l_{\text{Э}} = 30$ мм, напряжение $U_{\text{Д}} = 40$ В (формулы (22) и (23)):

$$I_{CB} = -19,32 \left(\frac{V_{III}}{50} \right)^2 + 283 \frac{V_{III}}{50} + 45,9, \text{ А.} \quad (22)$$

$$\alpha_p = 0,0827 \left(\frac{V_{III}}{50} \right)^2 + 0,772 \frac{V_{III}}{50} + 8,26, \text{ г/Ач.} \quad (23)$$

Электрод $d_{\text{Э}} = 3$ мм, вылет электрода $l_{\text{Э}} = 30$ мм, напряжение $U_{\text{Д}} = 45$ В (формулы (24) и (25)):

$$I_{CB} = -22,03 \left(\frac{V_{III}}{50} \right)^2 + 313 \frac{V_{III}}{50} + 19,6, \text{ А.} \quad (24)$$

$$\alpha_p = 0,1119 \left(\frac{V_{III}}{50} \right)^2 + 0,4262 \frac{V_{III}}{50} + 8,486, \text{ г/Ач.} \quad (25)$$

Электрод $d_{\text{Э}} = 3$ мм, вылет электрода $l_{\text{Э}} = 30$ мм, , напряжение $U_{\text{Д}} = 50$ В (формулы (26) и (27)):

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.04.01.2019.196.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 29 |

$$I_{CB} = -21,9 \left(\frac{V_{III}}{50} \right)^2 + 317,45 \frac{V_{III}}{50} + 18,3, \text{ А.} \quad (26)$$

$$\alpha_p = 0,097 \left(\frac{V_{III}}{50} \right)^2 + 0,411 \frac{V_{III}}{50} + 8,4, \text{ г/Ач.} \quad (27)$$

На рисунке 5.1 полученные зависимости представлены в виде графиков.

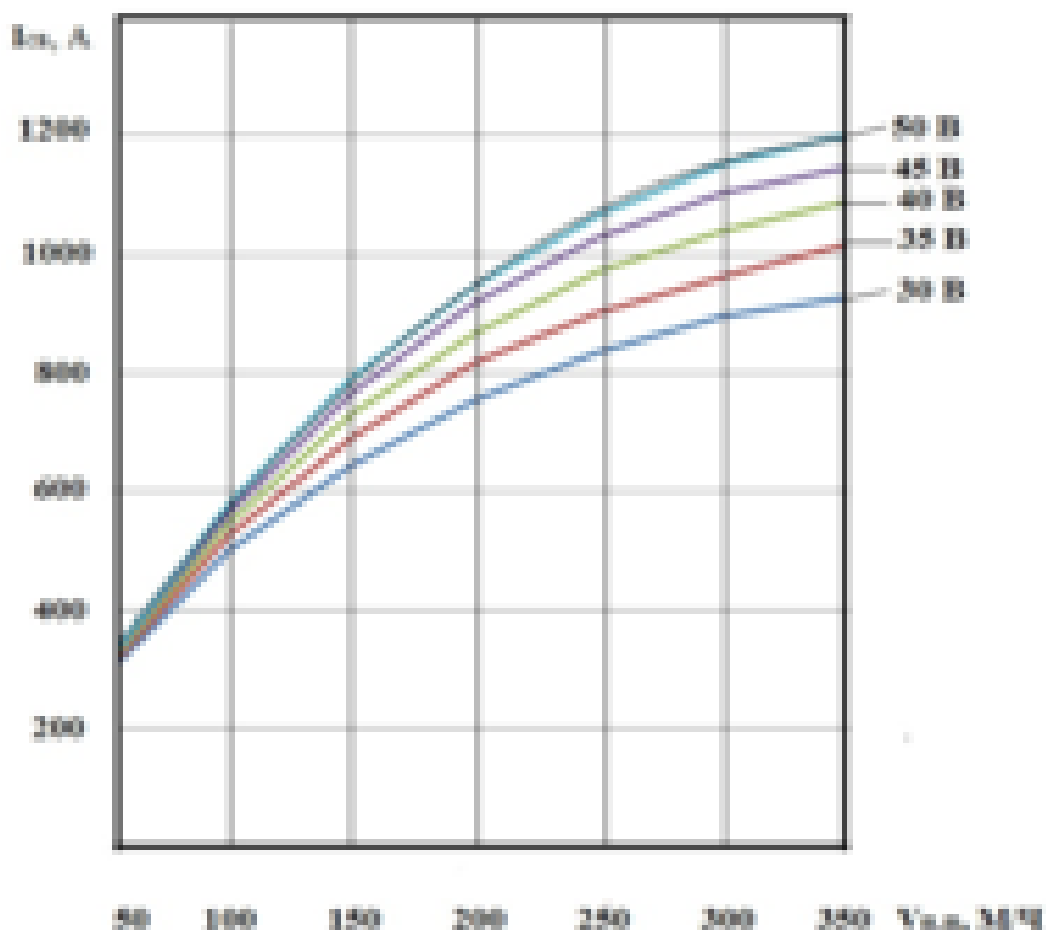


Рисунок 5.1 – Зависимости силы сварочного тока от скорости подачи проволоки и напряжения для электрода диаметром $d_{\text{э}} = 3$ мм, вылета электрода $l_{\text{э}} = 3$ см, постоянного тока обратной полярности

Как видно из графиков, представленных на рисунке 5.1, при одинаковых скоростях подачи сварочной проволоки с увеличением напряжения, задаваемого источником питания сварочной дуги, сила сварочного тока увеличивается. Последнее обстоятельство, вообще говоря, не ново, но почему-то никто не обращал внимания на то, что из этого следует важный в практическом отношении

вывод – с увеличением напряжения на дуге при неизменной скорости подачи электродной проволоки увеличивается значения силы сварочного тока, следовательно, снижается коэффициент расплавления электродного металла.

На рисунке 5.2 представлены графики изменения коэффициента расплавления в зависимости от скорости подачи сварочной проволоки.

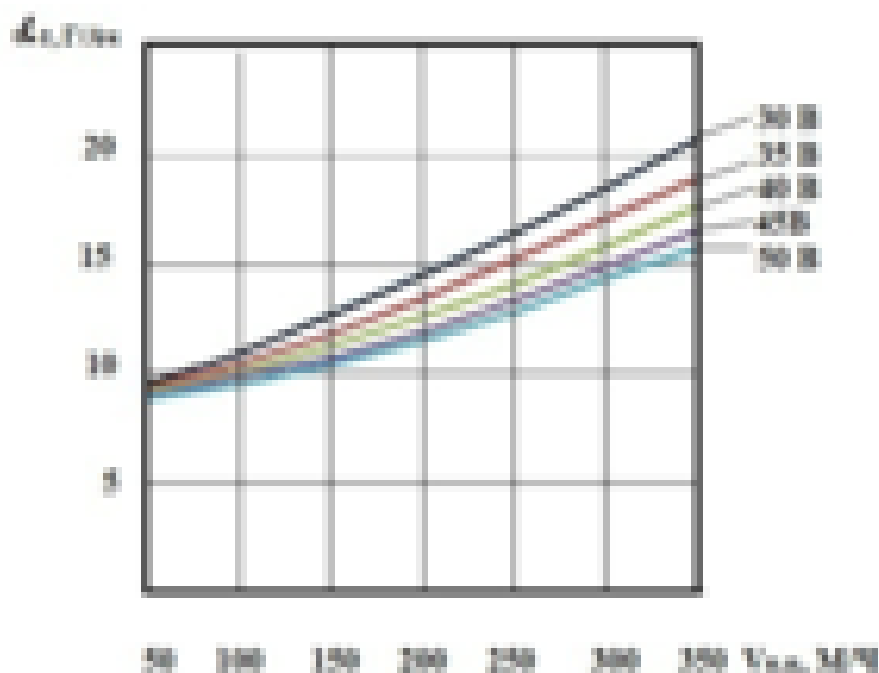


Рисунок 5.2 –Зависимости коэффициентов расплавления от скорости подачи проволоки и напряжения для электрода диаметром $d_{Э} = 3$ мм, вылета электрода $l_{Э} = 3$ см, постоянного тока обратной полярности

Наглядно видно уменьшение коэффициента расплавления с увеличением напряжения на дуге. В тоже время, в литературе принято, что коэффициент расплавления электродного металла зависит только от силы сварочного тока.

При ручной дуговой сварке напряжение, как правило, изменяется незначительно и вполне можно пренебречь влиянием напряжения на дуге.

При механизированных способах сварки напряжение может изменяться в широких пределах, что может привести к большой погрешности в расчётах. Так, например, при $V_{ПП} = 350$ м/ч с увеличением напряжения от 30 до 50 В коэффициент расплавления α_r снижается с 21 г/Ач до 16 г/Ач, т.е. почти на 25%.

Следует иметь в виду, что стабильность процесса сварки и качество сварного

шва тесно связаны с соотношением силы сварочного тока и напряжения на дуге. С увеличением силы сварочного тока необходимо увеличивать напряжение на дуге. Поскольку при сварке деталей больших толщин стремятся выполнить сварку за один проход, а глубина проплавления пропорциональна силе сварочного тока, то сварку ведут на больших токах и соответственно на больших напряжениях на дуге, то при механизированных способах сварки не учитывать в расчётах зависимость значений коэффициента расплавления α_p от значения напряжения на дуге нельзя, так как это может привести к значительной погрешности в оценке конфигурации шва.

На рисунке 5.3 представлены зависимости коэффициентов расплавления от силы сварочного тока и напряжения (в общепринятом варианте) $\alpha_p = f(I_{св})$ для случая сварки с неизменным вылетом электрода $l_э = 3$ см.

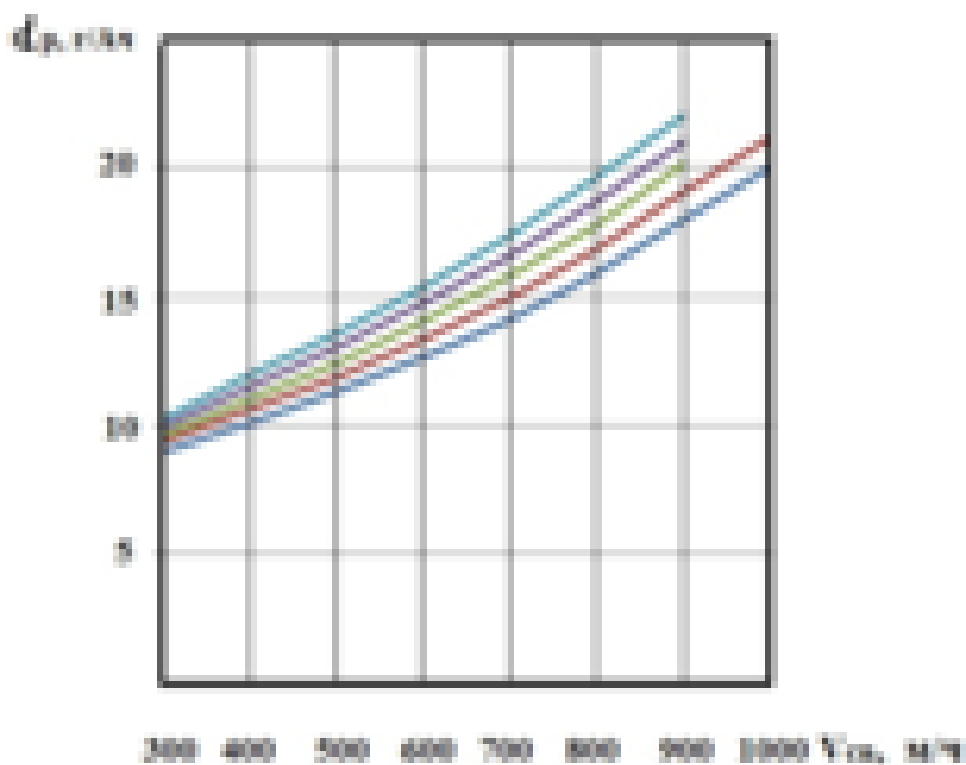


Рисунок 5.3 – Зависимость коэффициентов расплавления от силы сварочного тока и напряжения для электрода диаметром $d_э = 3$ мм, вылета электрода $l_э = 3$ см, постоянного тока обратной полярности

Для сравнения, на рисунке 5.4 представлены графики изменения коэффициента расплавления для электрода диаметром $d_э = 3$ мм с вылетом

электрода $l_{\text{Э}} = 3$ см, полученные из эксперимента (кривая 1) и расчётным путём по методике [1].

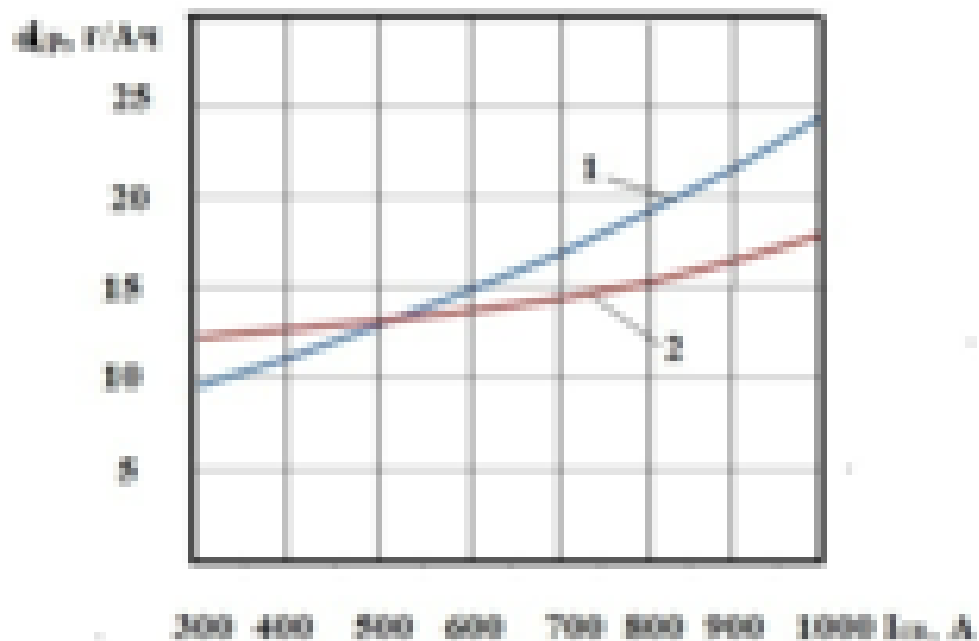


Рисунок 5.4 – Зависимости коэффициентов расплавления от силы сварочного тока для напряжения $U_{\text{д}} = 30$ В, электрода диаметром $d_{\text{Э}} = 3$ мм, вылета электрода $l_{\text{Э}} = 3$ см, постоянного тока обратной полярности:

1 – α_p из эксперимента; 2 – α_p расчёт по методике [1]

Видно, что наблюдается значительное расхождение экспериментальных данных с рассчитанными по методике [1]. При малых значениях сварочного тока расчётные данные превышают данные, полученные в эксперименте. Начиная с тока $I_{\text{св}} > 550$ А, наоборот, экспериментальные данные превышают расчётные.

5.2 Влияние вылета электрода на величину коэффициента расплавления

В общем случае, согласно [1] коэффициент расплавления α_p складывается из двух слагаемых

$$\alpha_p = \alpha'_p + \Delta\alpha_p.$$

В соответствии с [1], при сварке постоянным током обратной полярности составляющая коэффициента расплавления α'_p является величиной постоянной, независимой от параметров режима сварки. Её значение составляет $\alpha'_p = 11,6 \pm 0,4$ г/Ач.

Другая составляющая $\Delta\alpha_p$ зависит от параметров режима сварки и определяется по сложным зависимостям (13)...(14). Как отмечалось выше, оценить экспериментально величину $\Delta\alpha_p$ напрямую не представляется возможным. Поэтому мы провели опыты по сварке постоянным током обратной полярности электродом 3 мм, напряжением 50 В с вылетами сварочной проволоки, равными 30, 40, 50, 60 мм. В результате обработки опытных данных получили следующие зависимости силы сварочного тока I_{CB} и коэффициентов расплавления α_p от скорости подачи сварочной проволоки $V_{ПП}$:

Электрод $d_{\text{Э}} = 3$ мм, вылет электрода $l_{\text{Э}} = 30$ мм, напряжение $U_{\text{Д}} = 50$ В (формулы (28) и (29)):

$$I_{CB} = -21,9 \left(\frac{V_{ПП}}{50} \right)^2 + 317,45 \frac{V_{ПП}}{50} + 18,3, \text{ А.} \quad (28)$$

$$\alpha_p = 0,097 \left(\frac{V_{ПП}}{50} \right)^2 + 0,411 \frac{V_{ПП}}{50} + 8,4, \text{ г/Ач.} \quad (29)$$

Электрод $d_{\text{Э}} = 3$ мм, вылет электрода $l_{\text{Э}} = 40$ мм, напряжение $U_{\text{Д}} = 50$ В (формулы (30) и (31)):

$$I_{CB} = -15,4 \left(\frac{V_{ПП}}{50} \right)^2 + 244,6 \frac{V_{ПП}}{50} + 80,1, \text{ А.} \quad (30)$$

$$\alpha_p = 0,0267 \left(\frac{V_{ПП}}{50} \right)^2 + 1,322 \frac{V_{ПП}}{50} + 7,85, \text{ г/Ач.} \quad (31)$$

Электрод $d_{\text{Э}} = 3$ мм, вылет электрода $l_{\text{Э}} = 50$ мм, напряжение $U_{\text{Д}} = 50$ В (формулы (32) и (33)):

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.04.01.2019.196.00 ПЗ | Лист |
| | | | | | | 34 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

$$I_{CB} = -14,46 \left(\frac{V_{III}}{50} \right)^2 + 232,7 \frac{V_{III}}{50} + 84, \text{ А.} \quad (32)$$

$$\alpha_P = 0,0256 \left(\frac{V_{III}}{50} \right)^2 + 1,39 \frac{V_{III}}{50} + 8,11, \text{ г/Ач.} \quad (33)$$

Электрод $d_{\text{э}} = 3 \text{ мм}$, вылет электрода $l_{\text{э}} = 60 \text{ мм}$, напряжение $U_{\text{д}} = 50 \text{ В}$ (формулы (34) и (35)):

$$I_{CB} = -13 \left(\frac{V_{III}}{50} \right)^2 + 207,1 \frac{V_{III}}{50} + 99, \text{ А.} \quad (34)$$

$$\alpha_P = 0,046 \left(\frac{V_{III}}{50} \right)^2 + 1,49 \frac{V_{III}}{50} + 8,32, \text{ г/Ач.} \quad (35)$$

На рисунке 5.5 представлены графики изменения силы сварочного тока с изменением вылета электрода для напряжения $U_{\text{д}} = 50 \text{ В}$. Видно, что с увеличением вылета при неизменной скорости подачи электродной проволоки сила сварочного тока уменьшается. Последнее отмечается в [1, 3] и других источниках. Однако это отмечается как факт, не противоречащий теории сварочных процессов. Конкретные зависимости силы сварочного тока от вылета с изменением скорости подачи сварочной проволоки отсутствуют.

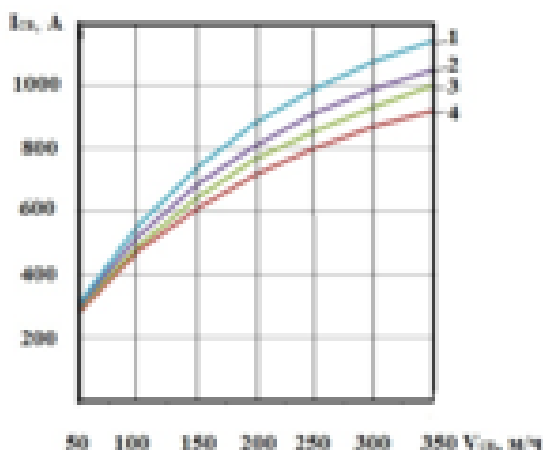


Рисунок 5.5 – Зависимость силы сварочного тока от вылета электрода для напряжения $U_{\text{д}} = 50 \text{ В}$:

1 – $l_{\text{э}} = 3 \text{ см}$; 2 – $l_{\text{э}} = 4 \text{ см}$; 3 – $l_{\text{э}} = 5 \text{ см}$; 4 – $l_{\text{э}} = 6 \text{ см}$

По рисунку 5.5 нетрудно сделать вывод, что увеличение вылета при прочих неизменных параметрах режима сварки, приводит к увеличению коэффициента расплавления.

На рисунке 5.6 представлены графики изменения коэффициента расплавления для электрода диаметром $d_{\text{э}} = 3$ мм с различными вылетами электрода полученные их эксперимента (кривая 1) и расчётным путём по методике [1].

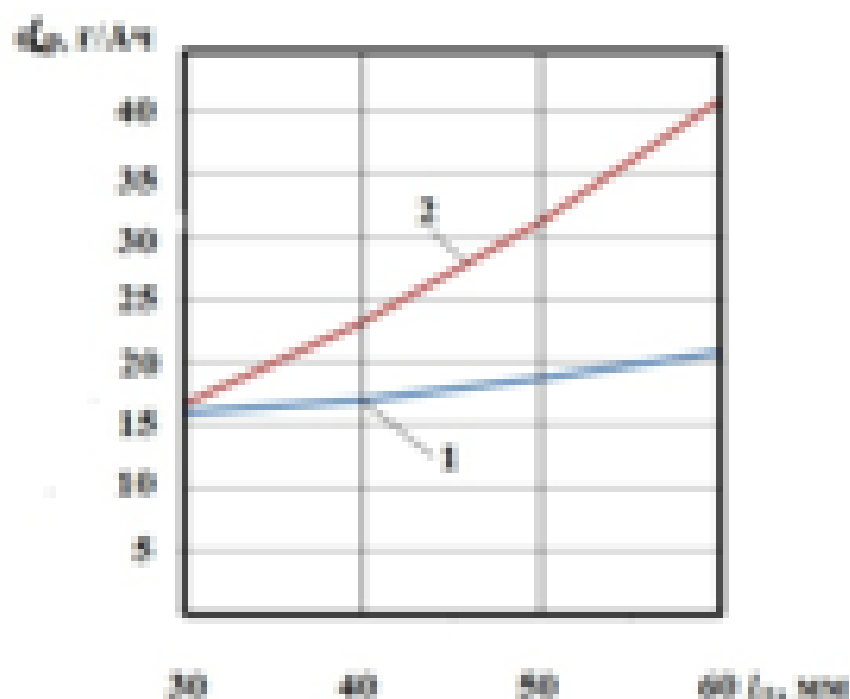


Рисунок 5.6 – Зависимость коэффициента расплавления от вылета электрода диаметром 3 мм, напряжение $U_{\text{д}} = 50$ В:

1 – эксперимент; 2 – расчёт по методике [1]

Видно, что наблюдается значительное расхождение экспериментальных данных с расчётными. При всех значениях сварочного тока расчётные данные значительно превышают данные, полученные в эксперименте. Так при вылете $l_{\text{э}}=60$ мм коэффициент расплавления, определённый по методике [1] в три раза превышает коэффициент расплавления, полученный в опытах. Последнее говорит о неприемлимости использования методики [1] для оценки значений коэффициентов расплавления с вылетами электродной проволоки, превышающими величину $l_{\text{э}} > 10 d_{\text{э}}$.

5.3 Зависимости $I_{CB} = f(V_{III})$ для постоянного тока прямой полярности

Электрод $d_{\text{э}} = 3$ мм, вылет электрода $l_{\text{э}} = 30$ мм, напряжение $U_{\text{д}} = 30$ В (формулы (36) и (37)):

$$I_{CB} = -8,81 \left(\frac{V_{III}}{50} \right)^2 + 154,2 \frac{V_{III}}{50} + 120,4, \text{ А.} \quad (36)$$

$$\alpha_P = -0,073 \left(\frac{V_{III}}{50} \right)^2 + 2,94 \frac{V_{III}}{50} + 7,9, \text{ г/Ач.} \quad (37)$$

Электрод $d_{\text{э}} = 3$ мм, вылет электрода $l_{\text{э}} = 30$ мм, напряжение $U_{\text{д}} = 35$ В (формулы (38) и (39)):

$$I_{CB} = -9,7 \left(\frac{V_{III}}{50} \right)^2 + 168 \frac{V_{III}}{50} + 108, \text{ А.} \quad (38)$$

$$\alpha_P = -0,045 \left(\frac{V_{III}}{50} \right)^2 + 2,56 \frac{V_{III}}{50} + 8, \text{ г/Ач.} \quad (39)$$

Электрод $d_{\text{э}} = 3$ мм, вылет электрода $l_{\text{э}} = 30$ мм, напряжение $U_{\text{д}} = 40$ В (формулы (40) и (41)):

$$I_{CB} = -10,35 \left(\frac{V_{III}}{50} \right)^2 + 185,9 \frac{V_{III}}{50} + 94, \text{ А.} \quad (40)$$

$$\alpha_P = -0,037 \left(\frac{V_{III}}{50} \right)^2 + 2,3 \frac{V_{III}}{50} + 7,85, \text{ г/Ач.} \quad (41)$$

Электрод $d_{\text{э}} = 3$ мм, вылет электрода $l_{\text{э}} = 30$ мм, напряжение $U_{\text{д}} = 45$ В (формулы (42) и (43)):

$$I_{CB} = -10,25 \left(\frac{V_{III}}{50} \right)^2 + 191,5 \frac{V_{III}}{50} + 100,3, \text{ А.} \quad (42)$$

$$\alpha_p = -0,077 \left(\frac{V_{\text{ПП}}}{50} \right)^2 + 2,34 \frac{V_{\text{ПП}}}{50} + 7,73, \text{ г/Ач.} \quad (43)$$

Электрод $d_{\text{Э}} = 3$ мм, вылет электрода $l_{\text{Э}} = 30$ мм, напряжение $U_{\text{д}} = 50$ В (формулы (44) и (45)):

$$\alpha_p = -0,037 \left(\frac{V_{\text{ПП}}}{50} \right)^2 + 1,91 \frac{V_{\text{ПП}}}{50} + 7,94, \text{ г/Ач.} \quad (44)$$

На рисунке 5.7 полученные зависимости представлены в виде графиков. Наблюдается такая же картина – увеличение силы сварочного тока с ростом напряжения на дуге при одинаковых скоростях подачи сварочной проволоки.

Однако, по сравнению со сваркой на обратной полярности, при одинаковых скоростях подачи проволоки сила сварочного тока ниже. Это подтверждает известный факт, что при дуговой сварке плавлением на катоде выделяется тепла больше, чем на аноде.

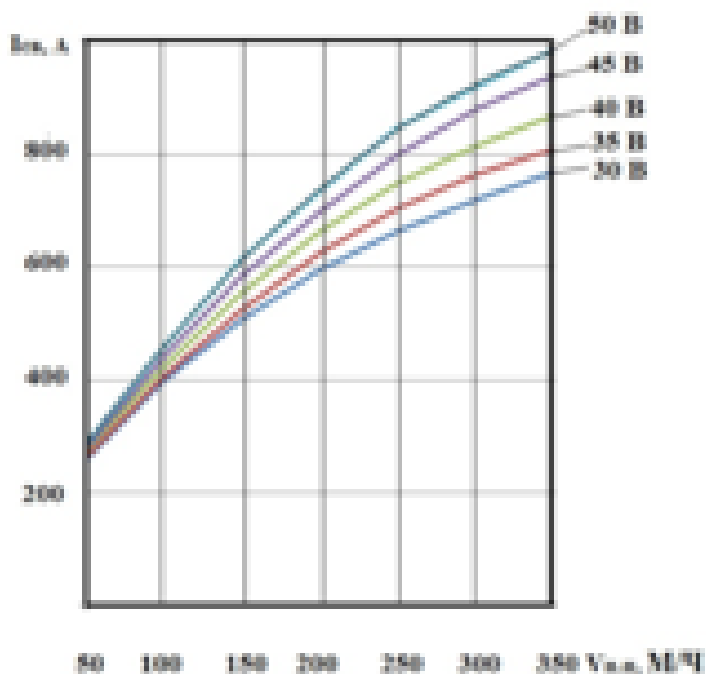


Рисунок 5.7 – Зависимости силы сварочного тока от скорости подачи проволоки и напряжения для электрода диаметром $d_{\text{Э}} = 3$ мм, вылета электрода $l_{\text{Э}} = 3$ см, постоянного тока прямой полярности

Для сравнения на рисунке 5.8 представлены графики изменения коэффициента расплавления для электрода диаметром $d_{\text{э}} = 3$ мм с вылетом электрода $l_{\text{э}} = 3$ см, полученные из эксперимента (кривая 2) и расчётным путём по методике [1] (кривая 1). Как и при сварке на обратной полярности наблюдается расхождение экспериментальных данных с расчётными.

Расчётные данные превышают экспериментальные, но при этом характер поведения кривых подобен, кривые 1 и 2 практически параллельны друг другу. Отличие составляет примерно 3 г/Ач. Но это справедливо лишь для вылета $l_{\text{э}} = 3$ см. С увеличением вылета электрода до $l_{\text{э}} = 6$ см эта разница становится чрезмерно большой.

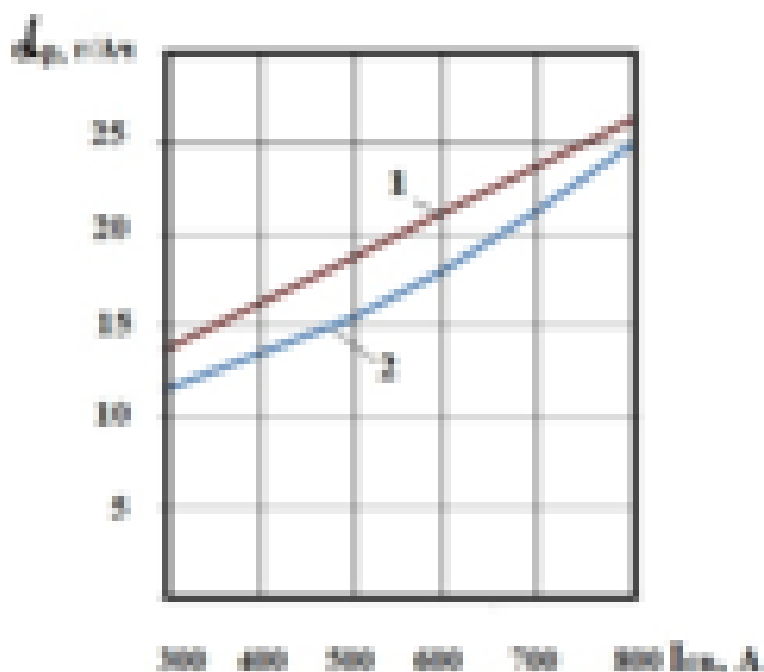


Рисунок 5.8 – Зависимости коэффициентов расплавления от силы сварочного тока для напряжения $U_{\text{д}} = 30$ В, электрода диаметром $d_{\text{э}} = 3$ мм, вылета электрода $l_{\text{э}} = 3$ см, постоянного тока прямой полярности:

1 – α_p расчёт по методике [1]; 2 – α_p из эксперимента

В заключение отметим, что в проделанной работе получены зависимости силы сварочного тока от скорости подачи электродной проволоки диаметром 3 мм могут быть применены в технологических расчётах. Эта работа наглядно показала необходимость проведения дальнейших исследований для получения подобных

зависимостей для электродных проволок других диаметров.

Выполненная работа также показала, что методика [1] расчёта геометрических параметров сварных швов по параметрам режима сварки несовершенна и нуждается в доработке и уточнении.

6 ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

По результатам проделанной работы можно сделать следующие выводы:

1. Существующая методика расчета геометрических параметров швов при расчете режимов сварки является несовершенной;
2. Для уточнения расчетных параметров коэффициента расплавления и силы сварочного тока получены зависимости, показывающие расхождение экспериментальных данных и теоретических;
3. Полученные зависимости силы сварочного тока от скорости подачи электродной проволоки диаметром 3 мм могут быть применены в технологических расчётах.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.04.01.2019.196.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 40 |

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Акулов, А. И. Технология и оборудования сварки плавлением. Учебник для студентов вузов/ А. И. Акулов, Г. А. Бельчук, В. П. Демянцевич. – М.: «Машиностроение», 1977. – 432с. с ил.
2. Рыкалин, Н.Н. Расчёты тепловых процессов при сварке /Н.Н. Рыкалин. – М.: Машгиз, 1951. – 296 с.
3. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением /под ред. Б.Е. Патона . – М.: Машиностроение, 1974. – 768 с.
4. Зайцев, Н. Л. Теоретические основы сварки плавлением: учебное пособие/ Н.Л. Зайцев. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2014. – 78 с.
5. Шахматов, М. В. Технология изготовления и расчет сварных оболочек/ М. В. Шахматов, В. В. Ерофеев, В. В. Коваленко – Уфа: Полиграфкомбинат, 1999. – 272 с.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.04.01.2019.196.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 41 |