

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИЯ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка и обработка материалов давлением и родственные процессы»

(наименование кафедры полностью)

15.04.01. Машиностроение

(код и наименование направления подготовки, специальность)

Технология и оборудование для пайки

(направленность (профиль))

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему Исследование скорости расплавления покрытых электродов

Студент

С.В. Абрамова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

В.П. Сидоров

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультанты

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель программы

д.т.н., профессор

Б.Н. Перевезенцев

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« ____ » _____ 2017 г.

Допустить к защите

Заведующий кафедрой

д.т.н., профессор

В.В. Ельцов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« ____ » _____ 2017 г.

Тольятти 2017 г.

АННОТАЦИЯ

Получены и проанализированы значения плотностей покрытия и приведенной плотности для ряда марок электродов. Рассмотрено соотношение производительностей расплавления покрытых электродов в зависимости от полярности дуги. Подтверждена линейная зависимость увеличения скорости расплавления от времени горения дуги для ряда марок электродов и установлены коэффициенты зависимостей. Установлено, что ускорение скорости расплавления электродов пропорционально примерно третьей степени от тока. Разработана методика оценки средней скорости расплавления электрода в зависимости от полярности дуги с использованием дуги косвенного действия. Показано, что для рекомендуемых токов производительность расплавления на 10-15% выше на обратной полярности дуги. На основе проведенных исследований предложен ряд технических решений, направленных на повышение производительности расплавления электродов. Содержит 119 стр., рис. 31, табл. 34, источников литературы 45, Приложения на 14 стр.

Содержание

Введение	5
Глава 1. Вопросы производительности сварки покрытыми электродами	7
1.1. Сущность, преимущества, недостатки ручной дуговой сварки покрытыми электродами	7
1.1.1. Сущность процесса ММА	7
1.1.2. Роль рода тока и его полярности	11
1.1.3. Образование шва при дуговой сварке	16
Глава 2. Влияние полярности дуги на производительность расплавления покрытых электродов	32
2.1. Методика определения плотности покрытия и приведенной плотности электрода	32
2.2. Методика исследований	34
2.3. Влияние полярности на скорость расплавления покрытых электродов	44
2.4. Результаты исследования скорости расплавления электродов марок МТГ-01К и 16 W	56
2.5. Исследование расплавления электродов МР-3 и МР-3С	57
Выводы по главе 2	58
Глава 3. Влияние основных параметров процесса на производительность расплавления покрытых электродов	59
3.1. Определение зависимости скорости расплавления электрода от тока дуги	59
3.2. Определение зависимости средней скорости расплавления электрода от тока	62
3.3. Использование зависимостей для средней скорости расплавления для определения коэффициентов	65
Выводы по главе 3.	67
Глава 4. Способы повышения эффективности расплавления покрытых электродов	68
4.1. Способ дуговой сварки штучными покрытыми электродами	68

4.2. Штучный покрытый электрод для дуговой сварки	76
4.3. Способ дуговой сварки штучным покрытым электродом	88
Заключение	99
Библиографический перечень	100
Приложения	105

ВВЕДЕНИЕ

Объем работ, выполняемых ручной дуговой сваркой покрытыми электродами остается в России весьма высоким. По данным масса сварных конструкций с использованием этого способа достигает 80%. Поэтому вопросы производительности и качества сварки для этого способа имеют большое значение.

Известно, что одной из причин значительно более низкой производительности ручной дуговой сварки штучными покрытыми электродами является использование низких плотностей тока на электроде, что обусловлено наличием большого вылета электрода при сварке. Это приводит к необходимости снижения тока дуги, во избежание перегрева покрытия и ухудшения его свойств.

Другой причиной является использование непосредственно в конструкции электрода покрытия, которое забирает в себя часть мощности дуги, снижая скорость его расплавления. Несмотря на то, что изучение процесса ручной сварки ведется достаточно давно, далеко не все вопросы, связанные с этим способом можно считать решенными. В литературе присутствуют противоречивые мнения о зависимости производительности расплавления электродов от полярности. Почти не используется для сварки дуга прямой полярности, что не имеет удовлетворительного объяснения. То же самое относится и к провару основного металла. Нет четких представлений о степени влияния нагрева электрода в вылете на производительность расплавления. Недостаточны критерии оценки электродов по толщине и плотности покрытия. Практически отсутствуют методы расчета производительности расплавления электродов для конкретных условий сварки: марка электрода, диаметр стержня, диаметр покрытия, ток дуги. Это существенно затрудняет назначение оптимальных для данных условий режимов ручной сварки, затрудняет нормирование сварочных работ.

В последние годы на кафедре сварки и обработки материалов давлением Тольяттинского государственного университета ведутся работы по изучению особенностей плавления покрытых электродов. Опубликован ряд статей в

научных журналах и получены патенты РФ на изобретения. Данная работа является развитием ранее выполненных исследований.

Целью данной работы является: создание предпосылок для выбора оптимальной полярности дуги и режимов при ручной дуговой сварке покрытыми электродами.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Результаты исследования скорости расплавления для ряда марок электродов, в том числе импортных, широко используемых при сварке ответственных конструкций на обратной и прямой полярностях дуги.
2. Результаты анализа плотности покрытия электродов одной марки с различным диаметром стержня и так называемой «приведенной плотности» покрытий разных марок.
3. Методика определения производительности расплавления электродов дугой постоянного тока с помощью дуги косвенного действия.
4. Зависимости коэффициентов расплавления и производительности расплавления от тока дуги для ряда марок электродов.

По результатам работы опубликованы в 2016 г две статьи в материалах конференции сварщиков Урала и оформлены три заявки на патенты РФ.

ГЛАВА 1. ВОПРОСЫ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СВАРКИ ПОКРЫТЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ

1.1. Сущность, преимущества, недостатки ручной дуговой сварки покрытыми электродами

1.1.1. Сущность процесса ММА

Несмотря на широкое применение различных механизированных способов сварки плавлением, в РФ около 80% сварных конструкций изготавливаются ручной дуговой сваркой покрытыми электродами [1]. За рубежом этот способ получил сокращенное обозначение ММА.

Аббревиатура ММА в переводе означает: Ручная дуговая электросварка с помощью штучных металлостержней покрытых спецпокрытием.

Для ММА- сварки требуется источник питания, кабель от источника к изделию и сварочный кабель с электрододержателем. Защитный газ не используется, т.к. покрытие в большинстве случаев содержит материалы, образующие защитный газ и шлак в зоне сварочной ванны (рис. 1.1). Напряжение холостого хода источника питания составляет порядка 60 В.

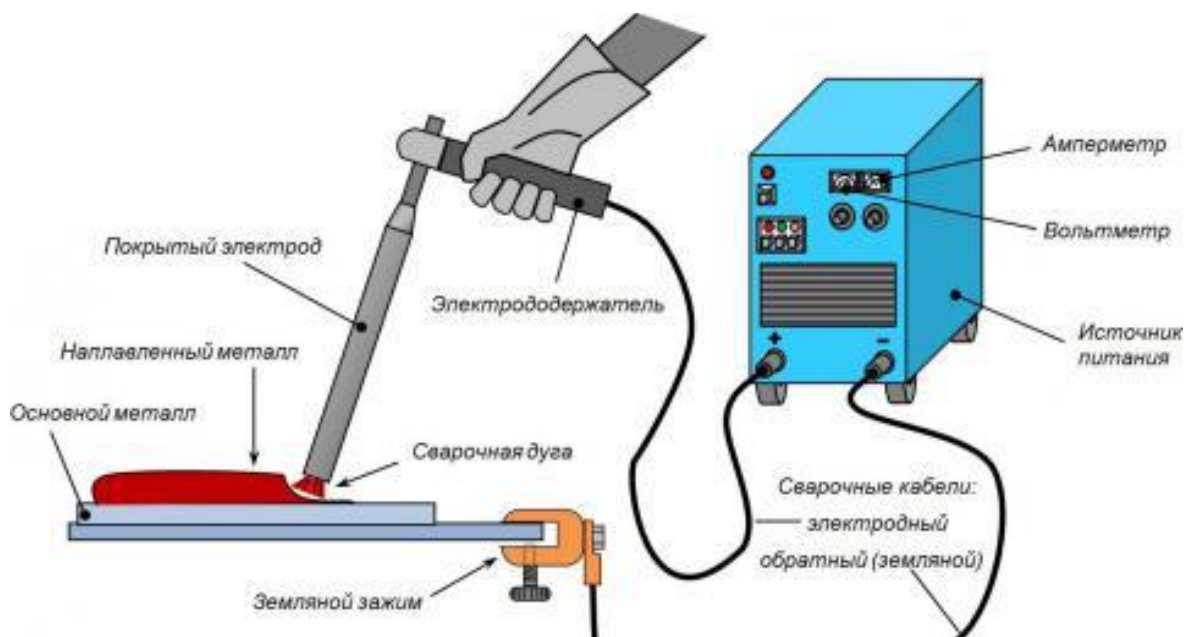


Рис. 1.1. Схема ММА-сварки

Дуга зажигается быстрым касанием торцом электрода поверхности свариваемого металла, которая под воздействием тепла дуги расплавляется, образуя сварочную ванну. Зажигание дуги происходит за счет образования при контакте на торце электрода прослойки жидкого металла. При отрыве электрода происходит разрыв этой прослойки и возникает мощное электрическое поле, с помощью которого и возникает дуга [2].

Высокая мощность разогревает кончик стержня, покрытие и свариваемые детали, приводя к появлению области плавления. Жидкий металл образует своеобразную зону – сварочную ванну. Плавающий металл стержня в виде отдельных капель, покрытых шлаковыми образованиями, поступает в ванну. В ней смешиваются металл электрода с металлом изделия, а расплавившийся шлак покрывает поверхность расплава. Расстояние от поверхности детали, на которое осуществляется плавление материала изделия, получило названия “глубина проплавления” или «провар» (рис.1.2).

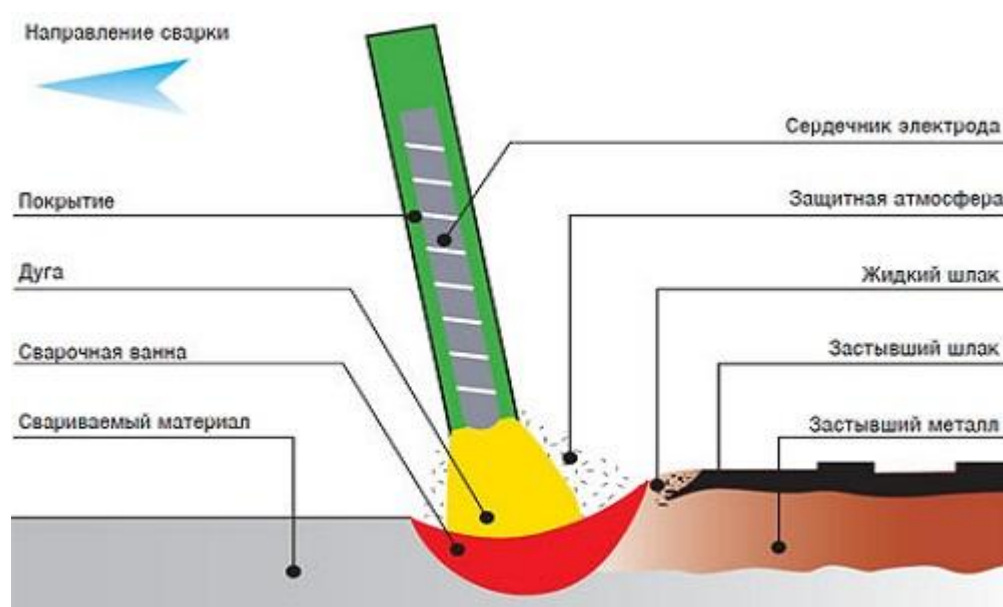


Рис.1.2. Схема ручной дуговой сварки

Размеры сварочной ванны зависят от режима сварки. При образовании ванны в результате действия дуги доля основного металла в ее формировании составляет максимально до 35% [3].

Плавление электрода приводит к плавлению его покрытия, что способствует образованию в области формирования ванны особого газового режима. Газы, образующиеся при плавлении, способствуют вытеснению воздуха и формированию защитного газового слоя. Этот слой препятствует взаимодействию расплава с газами атмосферы. Газовая оболочка места сваривания содержит в своем составе пары плавящихся металлов и легирующих элементов.

Выполнение ручной электросварки предусматривает возбуждение электрической дуги, перемещение электрода в процессе сваривания, определение порядка наложения швов, который находится в зависимости от особенностей свариваемых изделий.

При сварочных работах движение электродом осуществляется в трех направлениях. Первое движение – вдоль оси стержня электрода, скорость соответствует скорости его плавления. Второе осуществляется вдоль оси шва и определяет скорость сваривания изделия. Третье – колебательное движение стержня поперек шва. Это перемещение стержня обеспечивает качественное проваривание кромок деталей. Тип поперечных колебаний зависит от таких факторов, как форма шва, его размер и пространственное положение.

В процессе осуществления поперечного движения на поверхности шва происходит образование валика определенной ширины. Тип движения стержня зависит от физических качеств заготовок, которые подвергаются свариванию пространственного положения, в котором проводится работа.

При сварке длину дуги поддерживают по возможности короткой, в пределах 2-5 мм. При увеличении длины дуги ухудшается защита сварочной ванны от воздуха и увеличиваются потери материала стержня на разбрызгивание. Стабильность длины дуги влияет на качество шва и зависит от квалификации сварщика.

При полном расплавлении электрода удаляют шлак в месте окончания сварки, чтобы избежать появления в шве шлаковых включений. Необходимость частого прерывания дуги из-за расплавления электрода относится к недостаткам этого способа сварки.

В процессе плавления покрытия электрода на его торце образуется небольшая втулка, которая способствует направлению потока образующегося газа в сторону сварочной ванны, который благоприятствует переносу капель расплавленного электродного металла в нее. Поток газа настолько велик, что способен переносить капли снизу вверх, обеспечивая тем самым возможность сварки в потолочном положении [3].

Металлический стержень имеет оголенный участок длиной 20-30 мм, которым он крепится в электрододержателе. На противоположном конце стержня наносится специальное покрытие, облегчающее зажигание дуги. Известно множество конструкций электрододержателей, главными требованиями к которым являются удобство, возможность быстрой замены электрода, малый вес.

Марка или фирменное название электрода указываются на покрытии рядом с оголенным участком. Обычно приводится также обозначение класса электродов по классификации Американского общества специалистов по сварке (AWS).

Диаметр сварочного электрода – это диаметр металлического прутка в мм.

Покрытые электроды определенного размера и типа позволяют производить сварку на разных токах, но только в пределах определенного указанного изготовителем диапазона в зависимости от диаметра стержня, толщины и состава покрытия, а также положения сварки.

Покрытый электрод по мере сварки постепенно укорачивается. Расстояние от зоны подключения тока к электроду до его торца в данный момент горения дуги получило название вылета. Вылет имеется и при механизированных способах дуговой сварки. Отличие ММА заключается в том, что вылет в этом способе является переменной величиной. Понятие вылета электрода важно потому, что в нем происходит дополнительное по отношению к дуге выделение энергии и подогрев электрода.

Преимущества ММА по сравнению с другими способами дуговой сварки:

1. Возможность сварки в труднодоступных местах;
2. Возможность сварки в различных пространственных положениях;

3. Наименьшая стоимость процесса при сварке коротких швов (ремонтная сварка);
4. Высокое качество наплавленного металла благодаря металлургической обработке шва через шлак и хорошей защите сварочной ванны;
5. Низкая стоимость сварочного оборудования.

Недостатки процесса ручной дуговой сварки:

1. Низкая производительность расплавления электрода. Обусловлена использованием низких плотностей тока на электроде из-за нагрева вылета электрода;
2. Снижение производительности сварки из-за необходимости замены электродов;
3. Большие отходы электродов;
4. Высокие требования к условиям хранения электродов;
5. Высокая утомляемость сварщика и влияние его состояния на качество шва;
6. Значительная зависимость качества шва от квалификации сварщика;
7. Сложности получения качественных швов на тонком металле из-за ручного характера процесса;
8. Большие затраты на подготовку квалифицированных сварщиков.

К покрытым электродам в соответствии со стандартами предъявляются следующие основные требования:

1. Легкое зажигание и устойчивое горение дуги;
2. Равномерное расплавление покрытия;
3. Равномерное покрытие шва шлаком;
4. Легкое удаление шлака после сварки, отсутствие непроваров, пор, трещин в металле шва [4,5].

1.1.2. Роль рода тока и его полярности

У большинства современных сварочных источников питания на выходе образуется постоянный сварочный ток путем выпрямления переменного тока.

Дуга переменного тока представляет чередующиеся во времени дуги постоянного тока. Поэтому следует в первую очередь рассмотреть строение сварочной дуги постоянного тока. В отличие от металлических проводников полярность подключения для сварочных дуг играет важную роль. Это обусловлено строением сварочной дуги.

Сварочная дуга постоянного тока может быть прямой или обратной полярности. При прямой полярности к стержневому электроду подводится минус источника и он является катодом, а к свариваемому изделию плюс (оно является анодом), при обратной полярности - наоборот (рис.1.3) [3].

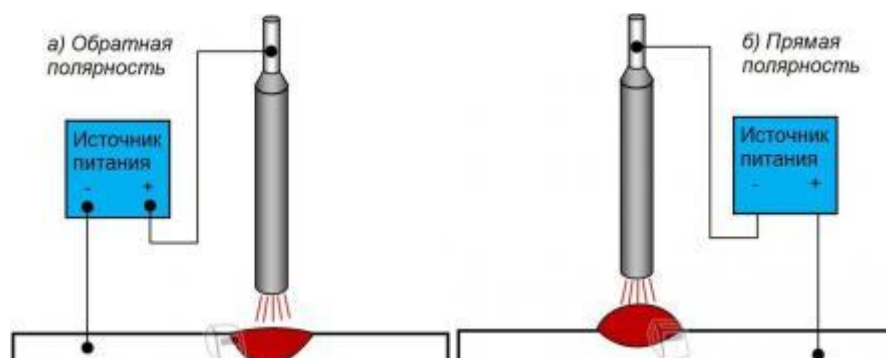


Рис.1.3. Варианты полярности сварочной дуги

Дуга состоит из трех областей, которые называются катодной и анодной и столбом дуги. Поверхности, через которые сварочный ток проходит в изделие и электрод, получили название соответственно катодного и анодного пятен (рис.1.4).

Электрическая мощность, выделяемая в сварочной дуге, определяется по формуле [2]

$$P=U_d \cdot I_d, \quad (1.1)$$

где U_d – падение напряжения на дуге, В; I_d – ток дуги, А.

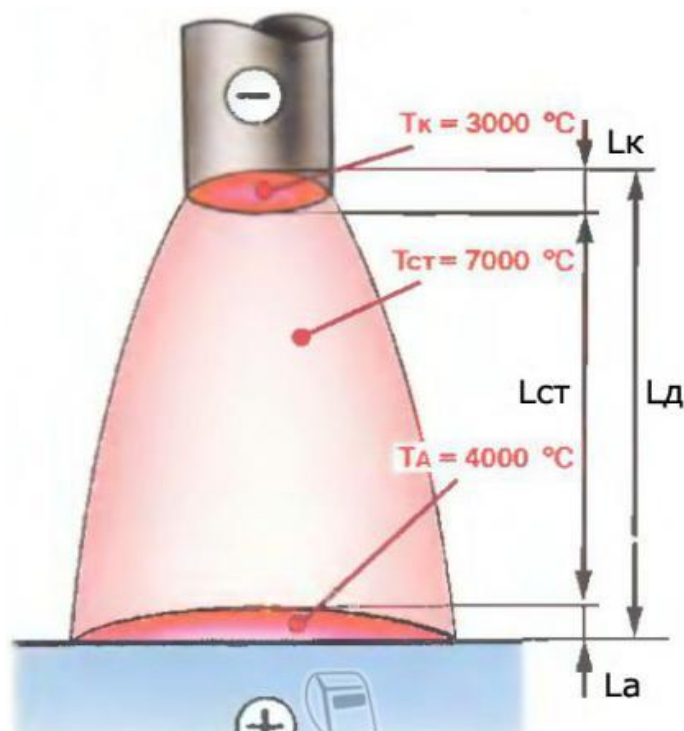


Рис.1.4. Области сварочной дуги

При сварке покрытым электродом напряжение дуги лежит в диапазоне $U_d \approx 20 \dots 30\text{ В}$. Токи дуги используются в пределах $I_d = 40 \dots 500\text{ А}$.

Так как дуга состоит из трех областей, то и ее напряжение можно представить в виде суммы напряжений этих областей

$$U_d = U_a + U_k + U_c, \quad (1.2)$$

где U_a и U_k – падения напряжения соответственно в анодной и катодной областях, В; U_c – падение напряжения в столбе дуги, В.

Падение напряжения во всех трех областях имеют один порядок величин, в пределах от нескольких вольт до 20 В. Однако длины областей очень сильно отличаются. Самую малую длину имеет катодная область, $\approx 10^{-5}\text{ см}$. Длина анодной области примерно в 10 раз больше $L_a \approx 10^{-4}\text{ см}$. Отсюда следует, что катодная и анодная области имеют очень высокую напряженность электрического поля, достигающую сотен тысяч вольт на см. Именно это обеспечивает прохождение тока в газовом разряде при сравнительно низкой температуре этих областей.

Температура в столбе дуги составляет примерно 6000 °К, а плавящихся электродов и изделия не может превышать 2500 °К. Поэтому существуют «холодные» переходные области от столба к электродам, в которых температура имеет промежуточное значение. Это и обуславливает высокую напряженность электрического поля в приэлектродных областях.

Согласно теории сварочной дуги [2] мощность, выделяемая в катод сварочной дуги P_k , можно приближенно определить по формуле

$$P_k \approx (U_k - U_b) I_d, \quad (1.3)$$

где U_b – напряжение, численно равное работе выхода электрона из металла катода, В.

Мощность, выделяемая в анод сварочной дуги P_a , можно приближенно определить по формуле

$$P_a \approx (U_a + U_b) I_d, \quad (1.4)$$

При сварке плавящимся, в том числе покрытым электродом, мощность, содержащаяся в каплях электродного металла, переносится к изделию. Поэтому мощность, вносимая дугой в изделие от приэлектродных областей, можно определить как сумму формул (1.3) и (1.4).

$$P_{и} = P_k + P_a \approx (U_k + U_a) I_d. \quad (1.5)$$

Некоторая мощность передается изделию и из столба дуги, например излучением. Однако в основном мощность, выделяемая в столбе дуги, рассеивается в окружающее пространство.

Мощность, передаваемая сварочным источником тепла к изделию, получила название эффективной мощности $q_{и}$. Отношение эффективной мощности к полной мощности сварочного источника тепла называют эффективным КПД $\eta_{и}$.

$$\eta_{и} = q_{и} / P_{и}. \quad (1.6)$$

При ММА-сварке $\eta_{и}$ лежит в пределах 0,7...0,8 [6].

Мощность по формулам (1.3) и (1.4) обычно неодинакова, поэтому электрод и изделие плавятся различными мощностями. Именно это показывает важность полярности сварочной дуги.

При питании дуга переменным током полярность электрода и изделия, а также условия существования дугового разряда периодически изменяются [7]. Так, дуга переменного тока промышленной частоты 50 Гц погасает и вновь возбуждается 100 раз в секунду, или дважды за каждый период. Поэтому особо возникает вопрос об устойчивости горения дуги переменного тока. В первую очередь устойчивость горения такой дуги зависит от того, насколько легко происходит повторное возбуждение дуги в каждом полупериоде. Это определяется ходом физических и электрических процессов в дуговом промежутке и на электродах в отрезки времени между каждым погасанием и новым зажиганием дуги. Снижение тока сопровождается соответствующим уменьшением температуры в столбе дуги и степени ионизации дугового промежутка. При переходе тока через нуль и перемене полярности в начале и конце каждого полупериода дуга гаснет. Одновременно падает и температура активных пятен на аноде и катоде. Падение температуры несколько отстает по фазе при переходе тока через нуль, что связано с тепловой инерционностью процесса. Особенно интенсивно падает температура активного пятна, расположенного на поверхности сварочной ванны, в связи с интенсивным отводом теплоты в массу детали. В следующий за погасанием дуги момент меняется полярность напряжения на дуговом промежутке (рис. 1.5).



Рис. 1.5. Формы тока и напряжения дуги при горении дуги на переменном токе

Одновременно изменяется и направление движения заряженных частиц в дуговом промежутке. В условиях пониженной температуры активных пятен и степени ионизации в дуговом промежутке повторное зажигание дуги в начале каждого полупериода происходит только при повышенном напряжении между электродами, именуемым пиком зажигания или напряжением повторного зажигания дуги. Пик зажигания всегда выше напряжения дуги, соответствующего стабильному режиму ее горения. При этом величина пика зажигания несколько выше в тех случаях, когда катодное пятно находится на основном металле. Величина пика зажигания существенно влияет на устойчивость горения дуги переменного тока. Деионизация и охлаждение дугового промежутка возрастают с увеличением длины дуги, что приводит к необходимости дополнительного повышения пика зажигания и влечет снижение устойчивости дуги. Поэтому затухание и обрыв дуги переменного тока при прочих равных условиях всегда происходят при меньшей ее длине, чем для постоянного тока. При наличии в дуговом промежутке паров легко-ионизирующихся элементов пик зажигания уменьшается и устойчивость горения дуга переменного тока повышается.

С увеличением силы тока физические условия горения дуги улучшаются, что также приводит к снижению пика зажигания и повышению устойчивости дугового разряда. Таким образом, величина пика зажигания является важной характеристикой – дуги переменного тока и оказывает существенное влияние на ее устойчивость. Чем хуже условия для повторного возбуждения дуги, тем больше разница между пиком зажигания и напряжением дуги. Чем выше пик зажигания, тем выше должно быть напряжение холостого хода источника питания дуги током.

1.1.3. Образование шва при дуговой сварке

При дуговой ММА – сварке сварочный шов образуется путем смешения основного и электродного металла (рис 1.6) [8].

Количественно это смешение оценивается с помощью доли участия основного металла в металле шва Ψ_0 .

$$\Psi_0 = F_0 / (F_0 + F_H) = F_0 / F_{\text{ш}}, \quad (1.7)$$

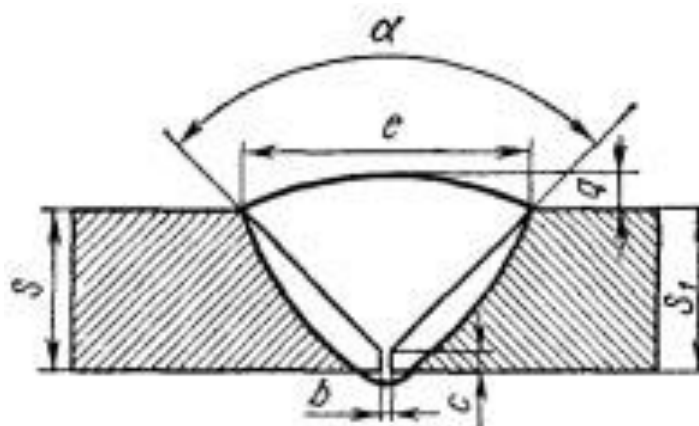


Рис. 1.6. Поперечное сечение сварного соединения с разделкой кромок

где F_0 – площадь поперечного сечения проплавления основного металла; F_H – площадь поперечного сечения дополнительного металла; $F_{\text{ш}}$ – площадь поперечного сечения шва.

Если не учитывать химические реакции и выгорание металла при сварке, то содержание какого-либо химического элемента в шве определяется формулой [8]

$$C_{\text{э}}^{\text{ш}} = C_{\text{э}}^{\circ} \Psi_0 + C_{\text{э}}^{\text{Д}} (1 - \Psi_0), \quad (1.8)$$

где $C_{\text{э}}^{\circ}$ – содержание элемента в основном металле, %; $C_{\text{э}}^{\text{Д}}$ содержание элемента в дополнительном металле, %.

Формула в виде (1.8) подходит для сварки в инертных газах. При сварке сталей покрытыми электродами под $C_{\text{э}}^{\text{Д}}$ можно понимать содержание элемента в так называемой «чистой» наплавке. Такое содержание получают при сертификации электродов путем наплавки нескольких слоев. Металл на анализ химического состава берется из верхних слоев такой наплавки. Химический состав наплавленного металла данного типа электродов приводится в стандартах и справочной литературе [9-12].

Площадь поперечного сечения наплавленного металла F_H сравнительно легко определить с помощью уравнения сохранения массы [13]

$$F_H \cdot V_c = (1 - \varphi_n) F_{\text{э}} \cdot V_{\text{э}}, \quad (1.9)$$

где V_c – скорость сварки; $V_э$ – скорость плавления электрода; $F_э$ – площадь поперечного сечения стержня электрода.

Отсюда

$$F_H = (1 - \varphi_n) F_э \cdot V_э / V_c, \quad (1.10)$$

где φ_n – коэффициент потерь дополнительного металла на угар и разбрызгивание, составляет при ММА –сварке 0,03-0,1 [14].

Согласно формуле (1.10) сечение наплавленного металла во столько раз больше сечения стержня, во сколько раз скорость расплавления электрода больше скорости сварки (с учетом потерь).

Коэффициент потерь зависит от состава электрода и его покрытия, от режима сварки и вида сварного соединения. Так, например, коэффициент потерь возрастает при увеличении плотности тока и длины дуги.

Скорость расплавления электрода $V_э$ можно определять с помощью коэффициента расплавления α_p [15].

Коэффициент расплавления [14] показывает производительность расплавления электродного металла на 1 Ампер тока дуги

$$\alpha_p = M_p / I_d \cdot t_d, \quad (1.11)$$

где M_p – масса расплавленного электродного металла, г; I_d – ток дуги, А; t_d – время действия дуги, час. Размерность α_p – г/(А·час).

Коэффициент наплавки [14] показывает производительность наплавки электродного металла на 1 Ампер тока дуги

$$\alpha_n = M_n / I_d \cdot t_d, \quad (1.12)$$

где M_n – масса наплавленного электродного металла, г; I_d – ток дуги, А; t_d – время действия дуги, час.

Обычно α_p больше α_n (за исключением, электродов содержащих железный порошок в покрытии).

Относительная разность α_p и α_n представляет коэффициент потерь на угар и разбрызгивание φ_n

$$\varphi_n = 100\%[(M_p - M_n)/M_p], \quad (1.13)$$

или

$$\varphi_{п} = 100\%(\alpha_{р} - \alpha_{н}) / \alpha_{р}. \quad (1.14)$$

Масса наплавленного металла в шве определяется по формуле

$$M_{н} = \rho F_{н} L_{ш}, \quad (1.15)$$

где ρ – плотность металла, для стали 7,8 г/см³; $L_{ш}$ – длина шва, см.

С помощью формулы 1.15 можно определить основное время сварки, необходимое для нормирования сварочных работ

$$t_{д} = M_{н} / I_{д} \alpha_{н}, \text{ час.} \quad (1.16)$$

Для заказа электродов можно пользоваться коэффициентом расхода покрытых электродов $K_{р}$, который приводится в справочниках и изменяется для различных марок электродов в пределах 1,6-1,8. [14].

$$M_{э} = M_{н} K_{р}. \quad (1.17)$$

Формулу 1.11 для коэффициента расплавления можно представить в виде

$$\alpha_{р} = M_{р} / I_{д} \cdot t_{д} = F_{э} L_{э} \rho / I_{д} \cdot t_{д} = V_{э} \rho / j, \quad (1.18)$$

$L_{э}$ – длина расплавленной части электрода, см; j – плотность тока на электроде, А/см².

Скорость расплавления электрода в специальной литературе часто приводят в м/час. Чтобы перевести значение в более удобный для расчетов вид в см/с нужно разделить скорость в м/ч на 36.

На основе баланса мощностей в дуге можно составить уравнение для нагрева электрода

$$Q_{э} = U_{э} \cdot I_{д} = V_{э} F_{э} H_{э}, \quad (1.19)$$

где $Q_{э}$ – мощность, затрачиваемая на расплавление электрода, Вт; $H_{э}$ – теплосодержание жидкого электродного металла, Дж/см³. $U_{э}$ – вольт-эквивалент мощности, расходуемой на плавление электродного металла.

Для покрытых электродов $H_{э} \approx 15600$ Дж/см³ [6]. Для расплавления стали достаточно 7800 Дж/см³. Таким образом, электрод в два раза перегрет по сравнению с количеством тепла, необходимого для его расплавления. Это объясняется тем, что тепло распространяется в электроде одномерно. Снижение $H_{э}$ – резерв для повышения производительности расплавления электрода.

По данным, приводимым Ерохиным А.А., [6] теплосодержание капель электродного металла на прямой и обратной полярностях отличается. На обратной полярности энтальпия капель примерно на 400 Дж выше, чем на прямой. Аналогичный результат получен в работе [16] при анализе режимов автоматической сварки под флюсом дуги с разнополярными импульсами тока.

Мощность Q_{Σ} можно представить в виде [6]

$$Q_{\Sigma} = Q_i - Q_p, \quad (1.20)$$

Q_i – электрическая мощность, передаваемая стержню, Вт; Q_p – мощность потерь на излучение с поверхности и испарение жидкого металла.

Электрическая мощность Q_i , состоит из 2-х слагаемых

$$Q_i = Q_d + Q_v, \quad (1.21)$$

где Q_d – электрическая мощность передаваемая в электрод от приэлектродной области дуги (катодной или анодной); Q_v – мощность Джоуля – Ленца, выделяемая в вылете электрода.

Величина Q_d – зависит от полярности дуги, Q_v – от полярности дуги почти не зависит. Зависимость Q_d от полярности определяется формулами (1.3) и (1.4).

В дуге переменного тока

$$Q_d \approx (U_k + U_a) I_d / 2, \quad (1.22)$$

Проще всего определить мощность от дуги в электрод именно для переменного тока, т.к. сумму $U_k + U_a$ можно определить с помощью опыта короткого замыкания [2].

Формулы 1.3, 1.4 и 1.22 объясняют разницу по производительности расплавления электрода в зависимости от полярности дуги, но не объясняют разницу в проплавлении основного металла, так как эффективная мощность согласно формуле (1.5) не зависит от полярности дуги. Объяснение различию проплавления изделия при сварке под флюсом в зависимости от полярности приведено в работах [16-18].

Рассмотрим подробнее мощность, выделяемую в вылете электрода. Эта мощность выделяется в соответствии с законом Ома

$$Q_v = I_d^2 R_v, \quad (1.23)$$

где R_v – сопротивление вылета, Ом.

В свою очередь

$$R_v = \rho_m L_v / F \varepsilon, \quad (1.24)$$

где L_v – длина вылета, см ρ_m – удельное электрическое сопротивление материала стержня, Ом/см.

Проблема заключается в том, что удельное сопротивление металла вылета ρ_m сильно зависит от температуры и определить R_v весьма непросто. Известна формула Б.Е. Патона [6], но применить ее довольно сложно. Определение мощности, выделяемой в вылете электрода, усложняется тем, что происходит одновременное уменьшение сопротивления за счет уменьшения длины вылета. Изменение падения напряжения в вылете может приводить к изменению тока в цепи, в свою очередь влияющего на сопротивление вылета. Кроме того, в литературе нет данных о потерях мощности с поверхности покрытого электрода. Таким образом, теоретическое определение нагрева вылета является очень сложной задачей.

Формулу 1.19 можно преобразовать, помножив обе части на плотность металла. Тогда

$$\alpha_p = U_3 / H \varepsilon, \quad (1.25)$$

Формула (1.25) показывает, что возможности регулировать производительность расплавления электрода невелики. Нужно каким-то образом снижать теплосодержание капель электродного металла и увеличивать вольт-амперный эквивалент приэлектродных областей дуги. Из работ [2,19] следует, что регулированию поддается катодная область дуги за счет нанесения на электрод различных элементов.

Коэффициент расплавления электрода в соответствии с видами электрической мощности $Q_i = Q_d + Q_v$, которые обеспечивают его плавление, разделяют на две составляющие [13]

$$\alpha_p = \alpha_p^d + \alpha_p^v. \quad (1.26)$$

где α_p^d – обеспечивается за счет мощности от приэлектродной области дуги Q_d , α_p^v – обеспечивается за счет электрической мощности, выделяемой в вылете.

Первое слагаемое зависит от полярности тока дуги, второе от полярности почти не зависит.

Эти зависимости приводятся для сварки под флюсом в [13]. Интересно, что для дуги обратной полярности при сварке под флюсом дуговая составляющая α_p^d не зависит от параметров дуги: $\alpha_p^d = 11,6 \pm 0,4$ (г/А·ч). Это объясняется тем, что анодное падение напряжения мало зависит от тока дуги и диаметра электрода [19].

Выделение энергии в вылете тонкой электродной проволоки при сварке в CO_2 рассмотрено в работах [28,29]. В них установлено, что примерно 30 % мощности, выделяемой в вылете, теряется в окружающее пространство. Опыты проводились на покрытых электродах и стержнях для них.

Данные по коэффициентам расплавления отечественных электродов приводятся иногда в паспортах электродов и обобщены в работе [14]. Для некоторых марок электродов приводится одно значение α_p , для других – диапазон значений. Главное, что отсутствуют рекомендации по выбору α_p в зависимости от режима сварки. Это затрудняет точное нормирование сварочных работ. Для каждого диаметра электрода приводится рекомендуемый диапазон тока. Известны формулы, рекомендующие выбор тока от диаметра стержня. Однако они не учитывают влияние вида покрытия и его толщины, т. е. являются весьма приближенными.

Изменение вылета покрытого электрода при сварке придает ММА – способу еще одну важную особенность. Поскольку плавление электрода происходит с ускорением, то содержание электродного металла в шве по его длине увеличивается, а основного – снижается. В соответствии с формулой (1.7) это приводит к изменению химического состава шва по его длине. Следовательно, имеет место повышенная химическая и структурная неоднородности металла шва по сравнению со способами автоматической сварки.

В патенте [20] предложено для обеспечения постоянства скорости плавления электрода регулировать ток дуги в процессе сварки. В начале зажигания электрода ток устанавливается максимальным, а затем уменьшается по

формуле. Ток в начале зажигания дуги может устанавливаться равным максимальному, рекомендуемому для данной марки электродов. Такой способ по данным авторов повышает производительность расплавления на 7-10%. Однако этот способ не устраняет изменения доли участия основного металла в металле шва, так происходит уменьшение тока в изделии.

В работе [21] разработана методика определения зависимости для изменения скорости расплавления электрода от времени горения дуги. Это производится путем дифференцирования зависимости длины расплавленного участка электрода во времени. В результате было установлено, что для отечественных электродов марки СЗСМ -02 имеет место линейная зависимость скорости расплавления от времени. Аналогичная зависимость была получена для импортных электродов марки LB -52U в работе [22].

На основе полученной линейной зависимости в патенте [23] предложена методика расчета максимальной скорости расплавления электрода. Она основана на расчетном методе для определения начальной скорости расплавления электрода. Для этого предлагается использовать данные по начальным (без учета влияния вылета) коэффициентам расплавления голых проволок при сварке под флюсом и учитывать влияние снижения скорости расплавления покрытых электродов за счет поглощения мощности покрытием. Введено понятие приведенной плотности электрода. Это такая плотность, когда масса стержня считается входящей в него. В результате получили удовлетворительное совпадение расчетных и опытных данных по начальной скорости покрытых электродов.

К недостаткам ММА – способа можно отнести также низкую гибкость технологического процесса сварки, на которую обращено внимание в работах [24,25]. Низкая гибкость присуща всем распространенным способам дуговой сварки. Под гибкостью в данном случае понимается сложность независимого регулирования соотношения основного и наплавленного металла в шве. Основные параметры режима не позволяют независимо регулировать проплавление основного и расплавление электродного металлов. Так при увеличении тока дуги

увеличивается проплавление основного металла, но, одновременно увеличивается и скорость расплавления электродного металла. При этом их соотношение практически не изменяется, что не позволяет регулировать химический состав шва режимами сварки.

Коэффициент расплавления существенно повышается с током. В меньшей степени это происходит для дуги обратной полярности, так как приращение вызывается подогревом вылета. С уменьшением диаметра электрода кривые располагаются выше. На основе анализа зависимостей для обратной полярности можно выделить составляющую коэффициента расплавления от тока дуги.

Графически производительность представляет площадь прямоугольника со сторонами α_p и I_d на графиках $\alpha_p = f(I_d)$ [13]. Отсюда следует, что при одинаковом токе производительность расплавления выше для электродов меньшего диаметра. Формула для производительности расплавления имеет вид

$$П = \alpha_p \cdot I_d. \quad (1.27)$$

Так как α_p увеличивается с током, то согласно формуле (1.27) $П$ с увеличением тока растет с повышающейся интенсивностью. Поэтому, несмотря на более низкие значения α_p , производительность расплавления увеличивается с увеличением диаметра электрода. Производительность расплавления играет важную роль при сварке соединений с разделкой кромок.

Важнейшая роль в получении качественного шва принадлежит покрытию электрода. В последнее время появились работы, направленные на оценку показателей качества покрытия. В работе [30] предлагается использовать коэффициент условной плотности покрытия $K_{пу}$

$$K_{пу} = M_{пкр} / (D^2 - d^2), \quad (1.28)$$

где $M_{пкр}$ – масса электродного покрытия на стержне, D – диаметр электрода с покрытием, d – диаметр стержня.

Знаменатель формулы (1.28) характеризует площадь покрытия. Таким образом, коэффициент $K_{пу}$ показывает, какая масса покрытия приходится на единицу площади его сечения. Размерность этого коэффициента $г/см^2$.

В работе [30] установили, что качество подготовки (смешивания) обмазочной массы является приемлемым при размахе значений по отношению к среднему значению не превышающем 3-5%. Опыты в работе [30] проводились на обратной полярности для электродов марки УОНИ13/45А. Было установлено, что с увеличением тока со 130 до 190 А коэффициент расплавления снижается с 9,08 г/(А·ч) до 7,64 г/(А·ч), т.е. почти на 16%. Авторы сделали вывод о нецелесообразности повышения производительности труда за счет увеличения тока. Они объясняют такой вывод повышением разбрызгивания металла и ухудшением внешнего вида шва.

В работе [26] показано, что по сварке покрытыми электродами в литературе противоречивая информация по провару изделия и скорости плавления электрода. Возможно, это связано с тем, что данные приводятся для различных условий сварки.

В процессе данного обзора выявлено, что ответственные стальные конструкции в основном свариваются на обратной полярности. Прямая полярность и переменный ток используются редко. Это, по-видимому, вызвано нестабильностью горения дуги прямой полярности. Известно из работы [19], что катоды при сварке в защитных газах могут отличаться по скорости расплавления до двух раз в зависимости от состояния поверхности.

Однако в последнее время появились работы, в которых утверждается, что разработаны электроды, имеющие преимущества при прямой полярности [27].

Первоочередной задачей при сварке трубопроводов является разработка технологии выполнения корневого слоя шва на весу [27]. Его качество (геометрия валика, сплошность и чешуйчатость, химический состав наплавленного металла и механические свойства, содержание диффузионного водорода) первостепенно определяет работоспособность трубного соединения.

Как правило, сварка магистральных трубопроводов осуществляется электродами с основным видом покрытия. СТО Газпром 2-2.2-136-2007 рекомендует выполнять ими корневой шов на обратной полярности. Однако в мировой практике большее применение получила сварка таких швов на прямой

полярности. СТО Газпром 2-2.2-136-2007 также допускает выполнение корневых слоев шва на прямой полярности, но только на заниженных зазорах в стыке для обеспечения проплава кромок. Это ограничение сдерживает широкое применение сварки на прямой полярности корневых швов и предопределило проведение дополнительных исследований.

По мнению авторов [27] факт, что при сварке на прямой полярности достигается большее проплавление, не вызывает сомнения. Причем теоретически не вполне ясно, за счет чего это происходит. По одним данным эффективный КПД нагрева дуги мало зависит от полярности тока, по другим — тепловой эффект разных электродов при одинаковом токе на прямой и обратной полярностях различен, т.е. имеет место тепловая асимметрия. По некоторым данным, целлюлозные электроды имеют значительно больший тепловой эффект на прямой полярности, а с рутиловым и основным покрытиями — характеризуются близкими значениями на обеих полярностях. По данным другой работы [27], на прямой полярности у рутиловых и основных электродов больший коэффициент расплавления, но меньшая на 40 % глубина провара, что противоречит действительности.

Ближе к истине данные исследований компании «Bohler Welding Group», согласно которым сварка на прямой полярности характеризуется более концентрированной (узкой) дугой, что вызывает меньший разогрев свариваемых кромок и более глубокое проникновение дуги сквозь имеющийся зазор внутри разделки. С одной стороны, это приводит к снижению температуры сварочной ванны и ее текучести, а с другой — способствует надежному проплавлению притупления свариваемых кромок и формированию равномерного обратного валика. Как результат, сварка корневого слоя шва на прямой полярности характеризуется более высокой скоростью во всех пространственных положениях.

В части снижения температуры сварочной ванны и ее текучести при сварке на прямой полярности результаты исследований «Bohler Welding Group» вполне коррелируются с полученными данными при выполнении в потолочном положении сварки пластин 350x50x18 мм со стандартной подготовкой стыка под сварку отечественными электродами Л5-52TRU Ø 4,0 мм. Они показали, что электродами

такого диаметра при сварке на обратной полярности не удастся сформировать без утяжки обратный валик корневого слоя шва, в то время как на прямой полярности бездефектный обратный валик формируется по всей длине свариваемых пластин. Это можно объяснить меньшей температурой и текучестью сварочной ванны, более быстрым остыванием и кристаллизацией металла шва, предотвращающих образование утяжки.

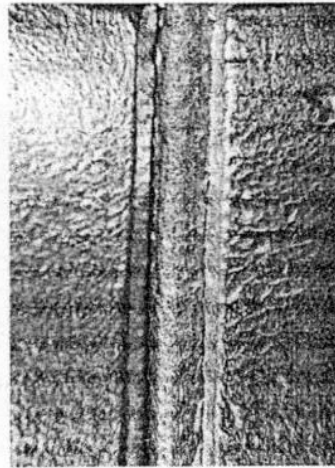
Указанные предпосылки реализованы, в частности, в электродах компании «Bohler Welding Group», предназначенных для сварки корневого слоя кольцевых стыковых соединений труб классов прочности K52-K70.

На рис. 1.7. представлены типичные внешний вид лицевой поверхности и вид обратного валика корневого слоя шва соединений труб с рекомендованным зазором в стыке, выполненных на прямой и обратной полярностях электродами марка ЛБ-52TRU диаметром 3,0 мм, а также характерная форма их поперечного сечения.

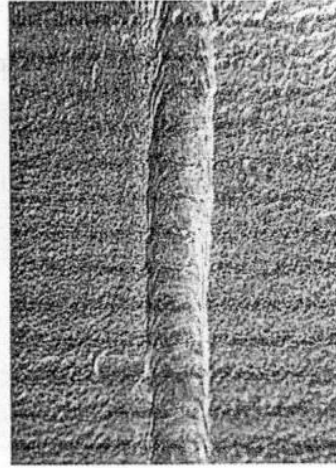
На рис. 1.8. видно, что в диапазоне регламентируемых зазоров стыка на прямой полярности обеспечивается не только равнозначное обратной полярности качество формирования корневого слоя трубного соединения, но и его улучшение.

Экспериментально установлены и другие достоинства сварки корневого слоя шва на прямой полярности:

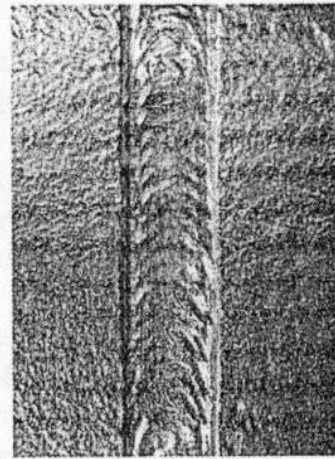
- увеличение на 30-35 % скорости выполнения корневого слоя шва при упрощении техники его наложения;
- меньшая чувствительность к магнитному дутью и разнотолщинности покрытия электродов при сварке;
- возможность наложения корневого слоя шва меньшего, чем на обратной полярности сечения, что обеспечиваем выполнение многопроходных соединений при меньшей толщине стенки трубы.



лицевая поверхность шва



обратный валик



лицевая поверхность шва



обратный валик

Рис. 1. 7. Форма и внешний вид корневого слоя швов, выполненных на прямой (а), обратной (б) полярностях [27]

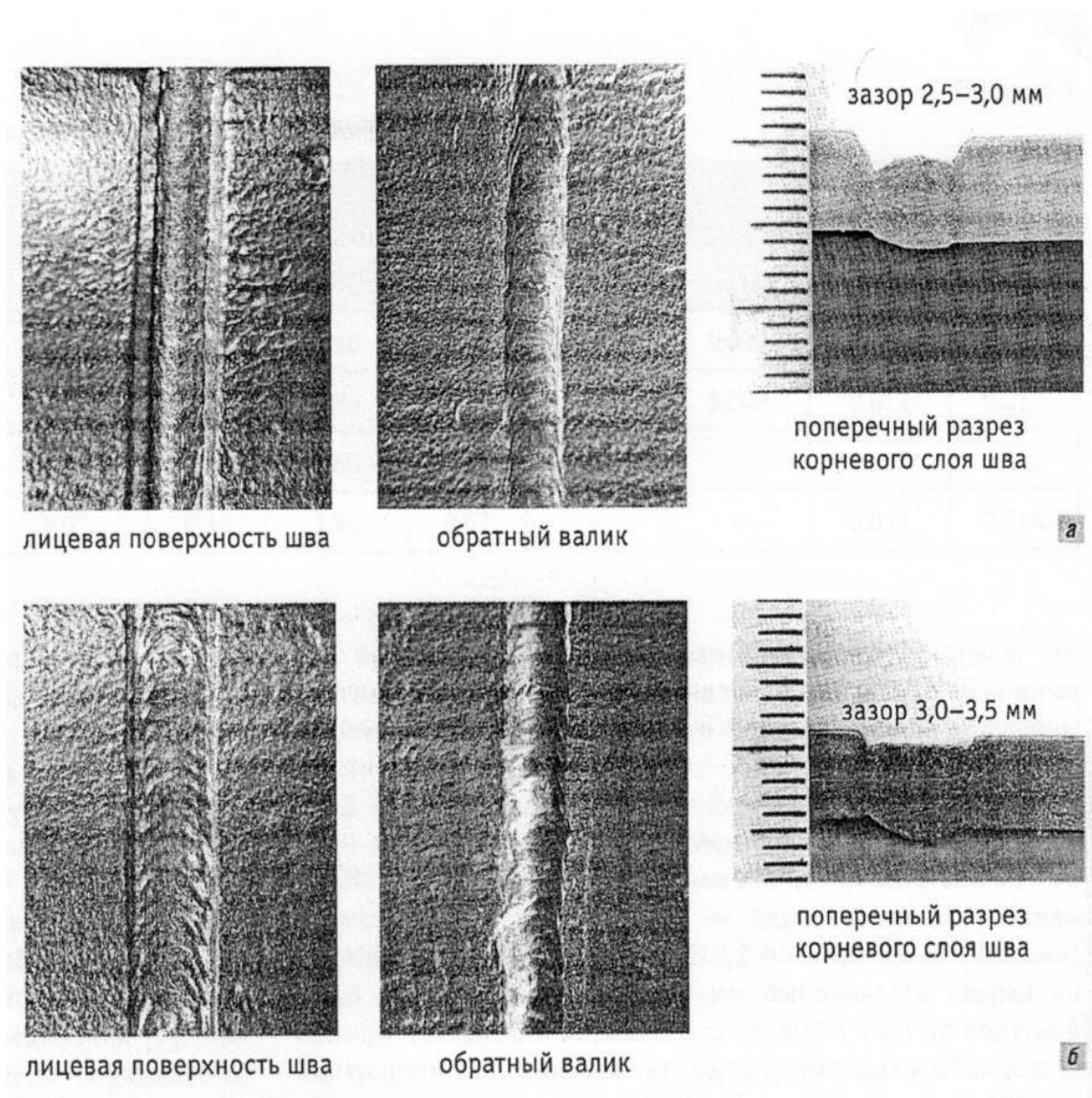


Рис. 1. 8. Диапазон регламентируемых зазоров стыка на прямой полярности [27]

Радиографический и ультразвуковой контроль подтверждают требуемую нормативной документацией сплошность сварных соединений с корневым слоем шва, выполненным на прямой полярности, а заполняющих и облицовочного слоев — на обратной полярности.

К отрицательным эффектам сварки на прямой полярности относятся повышенные вибрация и шум горения дуги, к которым сварщик быстро привыкает. Однако, большая, чем на обратной полярности вибрация сварочной ванны благотворно сказывается на улучшении условий дегазации и удалении из нее неметаллических включений, их глобуляризации и измельчения зерна металла шва, что способствует повышению

работоспособности сварного соединения. При этом стабильность горения дуги существенно не ухудшается разбрызгивание не увеличивается.

К неудобствам применения сварки на прямой полярности корневого слоя шва следует также отнести необходимость переключения полярности на обратную при переходе к сварке заполняющих и облицовочного слоев шва. Однако это неудобство вполне компенсируется достоинствами технологии сварки с комбинированием полярности тока.

Вместе с тем, опыт применения сварки на прямой полярности корневого слоя шва показал, что для ее успешного внедрения требуется определенная дополнительная тренировка сварщиков.

Обзор научно-технической информации в [27] не выявил отрицательного влияния полярности на химический состав металла, наплавленного на прямой и обратной полярностях. Это подтверждается данными определения химического состава наплавленного металла, полученными при сравнительных наплавках на прямой и обратной полярностях электродами ЛБ-52TRU и ЛБ-74.70TRU.

Выявленные изменения в десятых долях процента содержания Si и Mn не выводят химический состав за рамки, характерные для электродов, соответствующих типам Э50А и Э60 [27]. Некоторое снижение содержания C, Si, S и P позволяет рассчитывать на улучшение пластических свойств наплавленного металла, что особенно ценно для корневого слоя.

Экспериментальные данные не выявили отрицательного влияния прямой полярности и на содержание диффузионного водорода в металле шва.

Ухудшения показателей ударной вязкости и относительного удлинения наплавленного металла при сварке на прямой полярности в сравнении с обратной не выявлено. Кроме того вопрос стоит только о сварке корневого слоя шва, поскольку правильность выбора обратной полярности для наложения остальных его слоев с применением электродов с основным видом покрытия не вызывает сомнения. Для сварных соединений, выполненных по такой технологии, ухудшение показателей их временного сопротивления и угла загиба для стыковых соединений труб из сталей 10, 20 и 17ГС не выявлено.

Т. о., проведенный анализ не выявил отрицательного влияния прямой полярности на химический состав наплавленного металла, содержание в нем диффузионного водорода и механические свойства стыков труб с корневым слоем шва, выполненном на прямой полярности, а остальных — на обратной полярности. Это косвенно подтверждается рекомендациями по сварке корневых слоев шва только на прямой полярности высокопроизводительными электродами марок Bohler FOX HL180T, Phoenix Rot K160, Phoenix SH Multifler 130...180(E7024).

На основании проведенного обзора можно сформулировать следующие задачи работы:

1. Определить основные характеристики покрытых электродов, применяемых при ремонте нефтепроводов.
2. Исследовать влияние полярности дуги на скорость расплавления электродов.
3. Исследовать влияние тока дуги на производительность расплавления электродов.
4. Разработать приемы по повышению производительности и качества ММА-сварки.

ГЛАВА 2. ВЛИЯНИЕ ПОЛЯРНОСТИ ДУГИ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ РАСПЛАВЛЕНИЯ ПОКРЫТЫХ ЭЛЕКТРОДОВ

2.1. Методика определения плотности покрытия и приведенной плотности электрода

Приведенная плотность покрытого электрода это такая плотность, при которой вся масса покрытия считается входящей в состав стержня. Приведенная плотность может использоваться для расчета скорости расплавления покрытого электрода, если известна скорость расплавления электродной проволоки при автоматической сварке под флюсом, формулы для которых приведены в работе [13].

Приведенную плотность электрода $\rho_э$ можно определить по формуле, выведенной в работе [21]

$$\rho_э = \rho_{ш} (D^2/d_э^2 - 1) + \rho_{ст} , \quad (2.1)$$

где $\rho_{ст}$ – плотность материала стержня, г/см³, $\rho_{ш}$ – плотность материала покрытия, г/см³; D – диаметр электрода с покрытием, см; $d_э$ – диаметр металлического стержня, см.

Плотность покрытия $\rho_{ш}$ определяли путем взвешивания массы всего электрода на технических весах марки GF-1200 с точностью до 0,01 г и вычитания рассчитанной по его длине и диаметру массы стержня. При расчетах принимали плотность стального стержня $\rho_{ст} = 7,8$ г/см³. Производили ряд измерений (рис. 2.1) диаметра электрода с покрытием, диаметра стержня, массы электрода $M_э$, длины оголенной части электрода $L_{огол.}$. Длину электрода $L_{эл.}$ принимали по паспортным данным указанным на упаковке электрода. Полученные исходные данные для исследованных марок электродов, представлены в табл. 2.1.

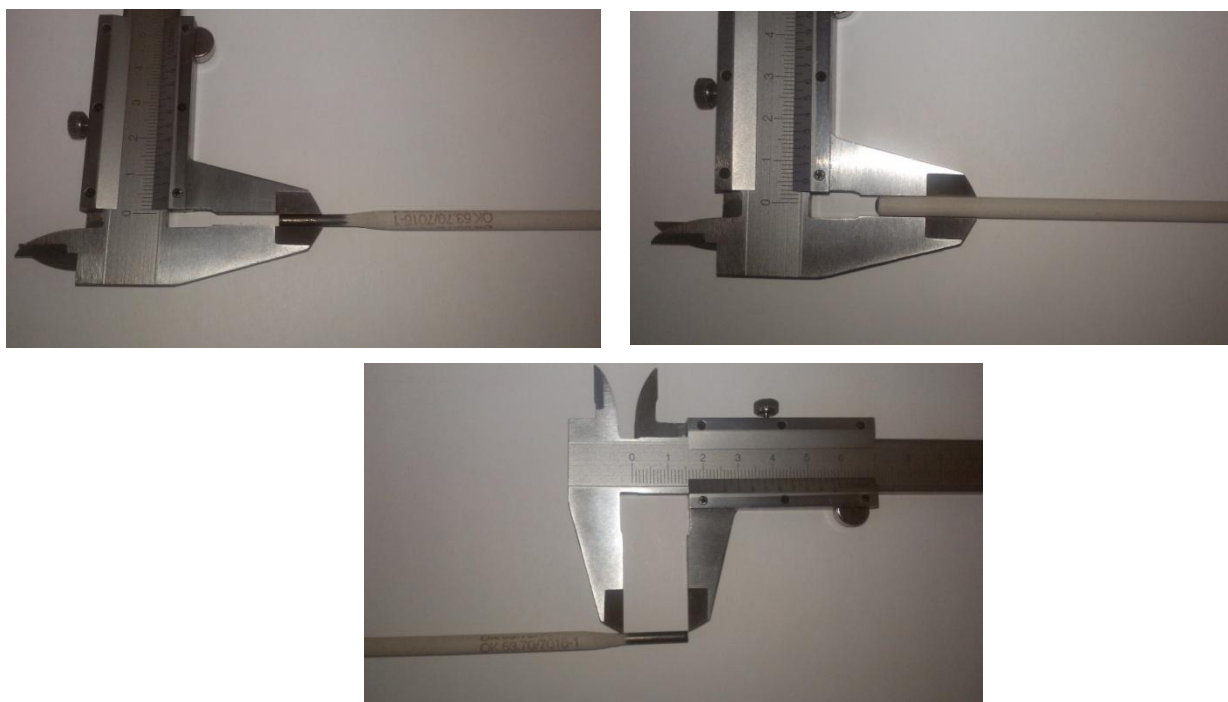


Рис. 2.1. Измерения размеров электрода

Таблица 2.1

Исходные данные исследуемых электродов

№п/п	Марка электрода	d, мм	D, мм	L _{эл} , мм	L _{огол} , мм	I _{св} , А	Масса, г
1	ЛБ 52U	2,6	4,0	350	21	60÷90	20,28
2		3,2	5,0	350	22	80÷130	30,61
3	ОК 53.70	3,2	5,0	350	22	80÷130	30,61
4		4,0	6,0	450	20	115÷190	63,10
5	ОК 74.70	3,2	5,0	450	26	80÷140	43,18
6		4,0	7,0	450	20	90÷190	65,94
7	MP-3	3,0	5,0	350	12	100÷140	26,58
8		2,0	3,5	250	16	35÷50	9,48
9	УОНИ13/55	3,0	5,0	350	17	80÷100	26,64
10	МТГ-01К	3,0	5,0	350	17	90÷130	28,38
11	МТГ-02	4,0	6,0	450	19	140÷180	60,31
12	Nittetsu 16W	2,6	4,0	350	24	40÷80	20,26

После получения исходных данных провели ряд вычислений, результаты которых представлены в табл. 2.2.

Результаты расчета плотности покрытия и приведенной плотности

№п/ п	Марка электрода	d_3 , мм	M_c , г	M_p , г	V_p , см ³	$\rho_{ш}$, г/см ³	ρ_p , г/см ³
1	LB- 52U	2,6	14,49	5,77	2,386	2,42	11,10
2		3,2	21,96	8,87	3,84	2,31	11,13
3	OK 53.70	3,2	21,96	8,76	3,84	2,28	11,09
4		4,0	44,09	19,03	6,72	2,83	11,34
5	OK 74.70	3,2	28,23	14,96	4,92	3,04	12,18
6		4,0	44,09	21,86	11,06	1,98	11,88
7	MP-3	3,0	19,27	7,3	4,25	1,72	10,9
8		2,0	6,13	3,35	1,52	2,21	12,36
9	УОНИ13/55	3,0	19,27	7,37	4,3	1,71	10,84
10	МТГ-01К	3,0	19,27	9,1	4,18	2,18	11,68
11	МТГ-02	4,0	44,09	16,22	6,75	2,4	10,8
12	Nittetsu 16W	2,6	14,49	5,87	2,36	2,48	11,19

Обращает на себя внимание существенное различие в плотности покрытия для одной марки электрода с разным диаметром стержня. Это относится к таким маркам, как ОК 53.70, ОК 74.70, MP-3, для которых были замеры для двух диаметров. Для марки LB- 52U такого различия нет. Интересно, что приведенная плотность электродов не имеет такого значительного различия, как плотность покрытия. Наименьшая плотность покрытия получили для электродов марки УОНИ13/55 с $d_3=3$ мм ($1,71$ г/см³), а наибольшую для ОК 74.70 диаметром $d_3=3,2$ мм ($3,04$ г/см³). Разница плотностей составляет около 80%.

Приведенная плотность влияет на скорость расплавления электродов. Поэтому можно предположить, что при металлургически подобных составах покрытия при изменении диаметра электродов в покрытия добавляются нейтральные вещества, изменяющие плотность покрытия, но сохраняющие приведенную плотность.

2.2. Методика исследований

На данном этапе определяли различие в скоростях расплавления электродов марок LB-52U, ОК 53.70 и голого стержня от ОК 53.70 в зависимости от полярности дуги.

Методика исследований заключалась в том, что измеряли длину расплавленной части электрода в зависимости от времени горения дуги при наплавке на пластину и затем по полученным зависимостям определяли зависимость для изменения скорости расплавления электродов во времени. Для данной марки электродов определенного диаметра проводились поочередно опыты на постоянном токе прямой полярности и обратной полярностей. При изменении полярности ток дуги не изменялся. Размер пластин из низкоуглеродистой стали (СтЗпс) для наплавки составлял 150x125x10 мм.

Проведение сварки поручили квалифицированному сварщику, аттестованному по требованиям НАКС, который поддерживал дугу стабильной длины, рекомендуемой для сварки. Наплавка производилась с небольшими поперечными колебаниями электрода.

Опыты проводились на сварочном аппарате INVERTEC V350-PRO фирмы Lincoln Electric. По паспортным данным указанным на упаковке (рис. 2.2), выбирали минимальный и максимальный рекомендуемые токи.

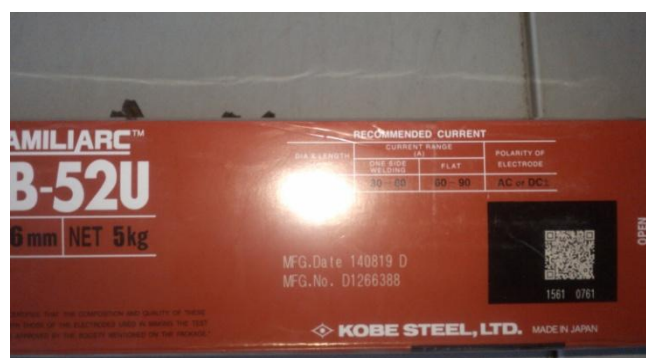


Рис 2.2. Внешний вид упаковок исследуемых марок электрода с паспортными данными

Время расплавления участка электрода засекали секундомером механическим марки СОСпр-26-2-010. Длину нерасплавленной части электрода измеряли металлической измерительной линейкой со шкалой 1 мм, штангенциркулями – Шц-I-125 и Шц-II-250. Для серии опытов на марке электродов одного диаметра использовали три электрода. На одном из них покрытие расплавляли полностью. На двух других длина покрытой части предварительно размечалась в соотношении $1/3$ и $2/3$ от полной длины рис. 2.3.



Рис. 2.3. Разметка электродов в соотношении $1/3$ и $2/3$ от полной длины

Эти части затем расплавлялись с последующим уточнением расплавившейся длины (рис. 2.4, 2.5). Оставшуюся при расплавлении часть электрода использовали для других опытов только после ее полного охлаждения до температуры помещения.





Рис. 2.4. Расплавление электродов по частям в соотношении $1/3$ и $2/3$ от полной длины и целого электрода.

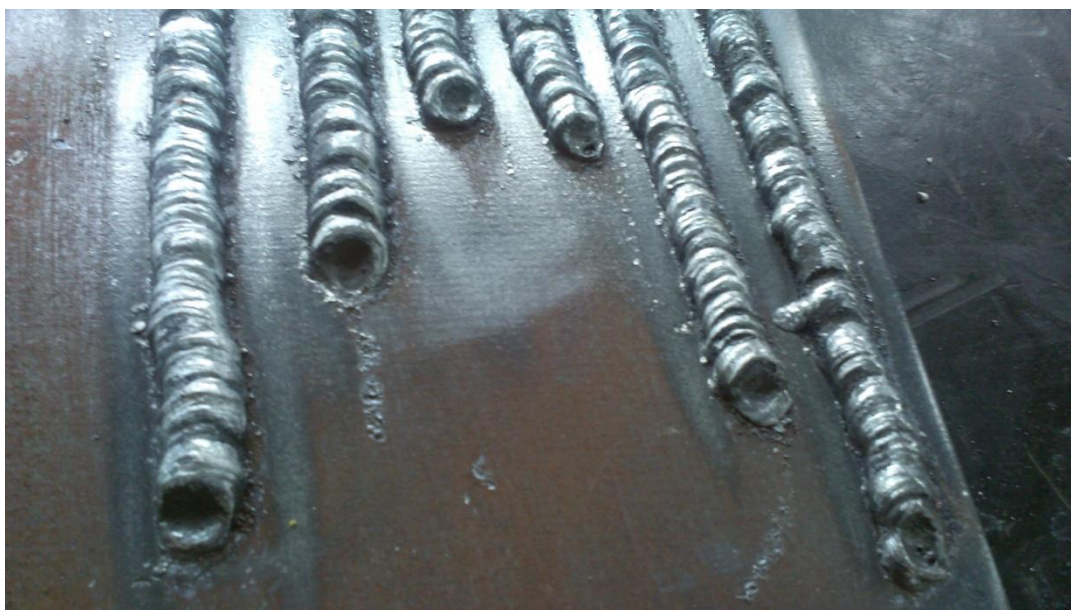


Рис. 2.5. Расплавление «голового» (отбитого) электродов по частям в соотношении 1/3 и 2/3 от полной длины и целого электрода

Полученные опытные данные обрабатывали с помощью стандартной компьютерной программы [43], подбирая коэффициенты параболической функции. При этом наряду со значениями, взятыми из опытов, вводились нулевые значения, так как известно, что в момент $t=0$, длина расплавившейся части также равна нулю.

При изменении полярности дуги сварочный ток не изменяли. Напряжение дуги составляло в среднем 25 В. Наплавку вели на минимальных и максимальных токах, рекомендуемых для данной марки электродов.

Все опыты проводились с использованием сварочного инвертора Invertec V350 Pro. Внешний вид источника питания представлен на рис 2.6.



Рис.2.6. Источник питания Invertec V350 Pro

Таблица 2.3

Основные технические характеристики источника

Наименование	Номер по каталогу	Сеть питания	Свароч. Ток/ Напряж / ПВ	Диапазон рег. Свароч. Тока	Габаритные размеры ВхШхД (мм)	Вес (кг)
Invertec V-350 Pro	K1728-8	200-220/380-400 415-440/1/3/50/60	350A/34V/60% (3 ф.) 320A/33V/60% (1 ф.) 300A/32V/100% (3 ф.) 275A/31V/100% (1 ф.)	5-425A Max. OCV: 80V	376 x 388 x 709	37,4

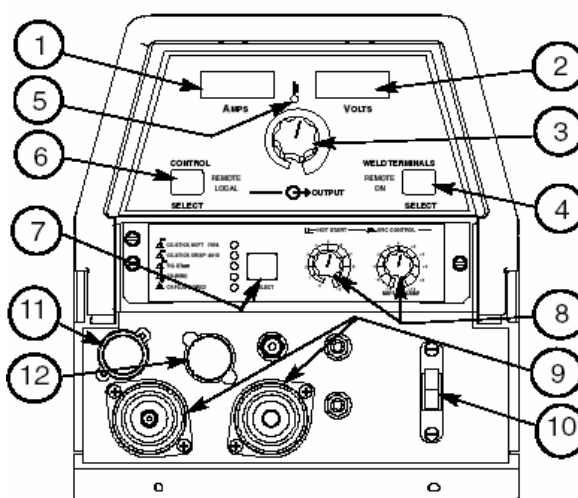


Рис. 2.7. Передняя панель источника

Источник питания Invertec V350-PRO нормирован на ток 350 А при ПВ=60%. Так же, аппарат обеспечивает сварочный ток 300 А при работе на ПВ=100%. Базовый цикл при замере показателя ПВ – 10 минут.

Назначение и функционирование органов управления, верхняя панель управления.

1. Цифровой амперметр (“Amps”)

- Перед началом ручной дуговой сварки штучным электродом или аргонодуговой сварки неплавящимся электродом цифровой амперметр отображает предварительно установленную величину сварочного тока с точностью +/- 2 А на токах до 100 А или +/- 3% на токах свыше 100 А (3 А при 100 А).
- В процессе сварки вольтметр отображает действующее напряжение дуги.
- После окончания сварки вольтметр в течение 5 секунд высвечивает последнее действовавшее значение напряжения дуги. При этом дисплей будет мигать. Перед началом ручной дуговой сварки штучными электродами или аргонодуговой сварки неплавящимся электродом вольтметр отображает напряжение холостого хода источника или высвечивает только точки, если сварочные терминалы Invertec V350-PRO отключены.
- В процессе сварки вольтметр отображает действующее напряжение дуги.
- После окончания сварки вольтметр в течение 5 секунд высвечивает последнее действовавшее значение напряжения дуги. При этом дисплей будет мигать.

2. Регулятор выходной мощности (“OUTPUT”)

- Регулировка выходной мощности (сварочного тока или напряжения дуги) производится с помощью только одного потенциометра.
- Установленное значение сварочного параметра отображается либо на амперметре, либо на вольтметре.

3. Кнопка выбора сварочного процесса (“WELD MODE”) – строительная и заводская модель.

(См. рис. 2.7.) Кнопка позволяет выбрать требуемый сварочный процесс. При этом источник формирует необходимую для данного процесса выходную вольтамперную характеристику. С помощью кнопки можно установить следующие процессы сварки:

Ручная дуговая сварка штучным электродом на крутопадающей характеристике (“CC-STICK SOFT”):

При этом обеспечивается плавная регулировка сварочного тока в диапазоне от 5 до 425 А. Данная вольтамперная характеристика применяется в основном для ручной дуговой сварки электродами с основным видом покрытия и дуговой строжки угольным электродом.

- Дуговая строжка угольным электродом: сварочный ток регулируется до 425 А. Его величина определяется в зависимости от диаметра угольного электрода. Рекомендуемый максимальный диаметр угольного электрода – 5/16” (8,0 мм).
- Регулятор “Горячий старт” (“HOT START”) управляет стартовым током в момент зажигания дуги. Диапазон регулировки стартового тока от “0” – минимума (в момент зажигания дуги действует установленная величина сварочного тока) до “10” – максимума (в момент зажигания дуги действует удвоенная установленная величина сварочного тока).
- В данном режиме регулятор “Индуктивности выходного сварочного контура” (“ARC CONTROL”) управляет током короткого замыкания. При установке регулятора в позицию “-10” сварочная дуга становится более “мягкой” и снижается уровень разбрызгивания. Максимальное значение – “+ 10” приводит к более “жесткой” дуге и позволяет избежать залипания электрода.

Ручная дуговая сварка штучным электродом на пологопадающей характеристике (“CC-STICK CRISP”):

При этом обеспечивается плавная регулировка сварочного тока в диапазоне от 5 до 425 А. Данная вольтамперная характеристика рекомендуется для ручной дуговой сварки электродами с целлюлозным видом покрытия и в первую очередь для сварки трубопроводов.

- Регулятор “Горячий старт” (“HOT START”) управляет стартовым током в момент зажигания дуги. Стартовый ток увеличивается или уменьшается на 25 % от предварительно установленной величины сварочного тока. При установке регулятора в позицию “5” стартовый ток равен предварительно установленной величине сварочного тока.
- В данном режиме регулятор “Индуктивности выходного сварочного контура” (“ARC CONTROL”) управляет током короткого замыкания. При установке регулятора в позицию “-10” сварочная дуга становится более “мягкой” и снижается уровень разбрызгивания. Максимальное значение – “+ 10” приводит к более “жесткой” дуге и позволяет избежать залипания электрода.

Основные особенности и преимущества

- Invertec V350-Pro – универсальный инверторный сварочный источник с диапазоном регулировки сварочного тока от 5 до 425 А.
- Возможность предварительной установки сварочных параметров.
- Компенсация колебаний напряжения питающей сети в пределах +10%.
- Высокий коэффициент мощности и отличные сварочно-технологические характеристики.
- Компактный и легкий.
- Микропроцессорное управление сварочными параметрами.
- Электронная и термостатическая защита от превышения тока и перегрева со светодиодным индикатором.
- Ручной переключатель входного напряжения, позволяющий быстро установить требуемое напряжение сети питания.

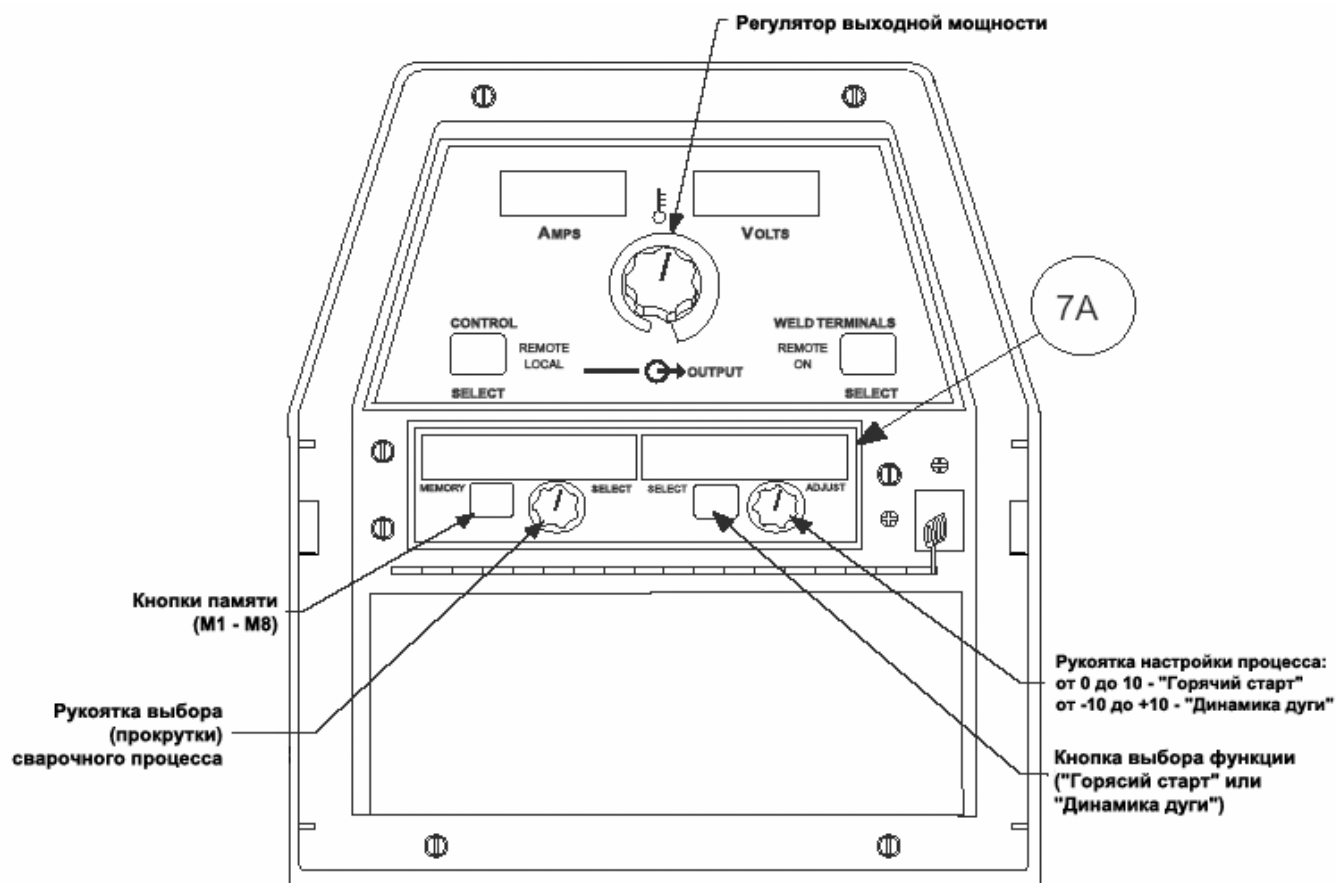


Рис. 2.8. Панель специальных процессов

- Вспомогательные контура на 42 и 115В переменного тока для питания подающих механизмов. Каждый контур имеет предохранитель релейного типа.
- Автоматическая установка режима работы выходных сварочных терминалов и регулировки выходной мощности аппарата (местный или дистанционный) при подключении пульта дистанционного управления или контрольного кабеля.
- Модульная система сборки.
- Индикаторы состояния сварочного источника для быстрого поиска неисправностей.
- Предохранитель входного контура.
- Специальный вентилятор, автоматически включающийся при необходимости охлаждения. Тем самым, он уменьшает количество пыли, попадающей в источник, и снижает расход электроэнергии.
- Надежная конструкция. Прочный корпус с защитными приспособлениями, предотвращающими повреждение при транспортировке.

- Источник спроектирован в соответствии со стандартом IEC 974-1.
- Класс защиты – IP23S.
- В комплект источника входит сетевой кабель длиной 3 м. Вспомогательные контура питания.
- 14-ти контактный разъем, расположенный на передней панели сварочного источника, имеют выходы вспомогательных контуров питания на 24, 42 и 115 В переменного тока. (Строительная модель K1728-5 сварочного источника Invertec V350-Pro не имеет 14-ти контактных разъемов). Эти контура подают питающее напряжение на электродвигатель механизма подачи или TIG модуль.

2.3. Влияние полярности на скорость расплавления покрытых электродов

В табл. 2.4 в качестве примера представлены данные по экспериментам с одним из типоразмеров электродов одной марки.

Таблица 2.4

Таблица опытов для электродов марки МР-3 =3,0 мм

Прямая полярность, ток 110 А						
Время, с	59,12	44,11	19,5	60,6	24,33	38,52
Лс, см	31,9	23,2	8,9	31,6	11,7	19,8
Прямая полярность, ток 140 А						
Время, с	42,81	20,45	32,17	45,12	36,85	15,77
Лс, см	31,5	11,9	20,2	31,8	23,1	9,1
Обратная полярность, ток 110 А						
Время, с	62,56	26,74	40,72	61,61	46,89	19,22
Лс, см	31,7	11,6	20,2	31,5	23,0	8,9
Обратная полярность, ток 140 А						
Время, с	47,77	20,96	34,79	48,59	37,2	14,55
Лс, см	31,4	11,4	20,3	32,2	23,0	9,0

Полученные данные аппроксимировали по методу наименьших квадратов с помощью компьютерной программы [43] и получали зависимость длины расплавленного участка от времени $L_c(t)$ вида

$$L_c(t) = L_0 + B_1 \cdot t + B_2 \cdot t^2, \quad (2.2)$$

где L_0 – длина сгоревшего участка в начальный момент времени; B_1 и B_2 – коэффициенты аппроксимации.

Скорость расплавления из формулы (2.2) можно найти, взяв производную Dl_c/dt .

Коэффициент B_1 характеризует скорость расплавления электрода в начальный момент времени, коэффициент B_2 – нарастание скорости расплавления за счет подогрева в вылете.

Данные расчетов коэффициентов по результатам опытов для электродов LB-52U, ОК 53.70 приведены в табл. 2. 5.

Данные табл. 2.5 показывают, что начальная скорость расплавления на прямой полярности на 10-15% ниже, чем на обратной, что отличает ручную сварку от автоматической под флюсом. Причиной такого отличия, скорее всего является то, что формулы, приведенные в [13] для сварки под флюсом, справедливы для больших токов, характерных для автоматической сварки, а при небольших токах ручной сварки дают иные результаты.

Таблица 2.5

Результаты определения параметров расплавления электродов

Электроды LB-52U d=3,2 мм					
Ток, А	Полярность	L_0 , см	B_1 , см/с	B_2 , см/с ²	$\Delta L/L_p$, %
140	обратная	$5,9 \cdot 10^{-2}$	0,50	$1,78 \cdot 10^{-3}$	1,6
	прямая	$6,6 \cdot 10^{-2}$	0,44	$1,54 \cdot 10^{-3}$	1,4
90	обратная	$2,8 \cdot 10^{-2}$	0,39	$4,52 \cdot 10^{-4}$	1,3
	прямая	$1,54 \cdot 10^{-1}$	0,34	$4,16 \cdot 10^{-4}$	3,4
Электроды ОК 53.70 d=3,2 мм					
130	обратная	$1,1 \cdot 10^{-1}$	0,43	$1,9 \cdot 10^{-3}$	2,3

	прямая	$8,4 \cdot 10^{-2}$	0,40	$1,48 \cdot 10^{-3}$	1,9
80	обратная	$1,36 \cdot 10^{-1}$	0,30	$4,4 \cdot 10^{-4}$	2,4
	прямая	$9,4 \cdot 10^{-2}$	0,25	$5,3 \cdot 10^{-4}$	2,7
Стержень ОК 53.70 d=3,2 мм					
130	обратная	-0,124	0,682	$3,0 \cdot 10^{-4}$	3,0
	прямая	$-6,46 \cdot 10^{-2}$	0,395	$4,12 \cdot 10^{-3}$	2,9
80	обратная	$-4,9 \cdot 10^{-3}$	0,422	$7,77 \cdot 10^{-4}$	1,0
	прямая	$-5,17 \cdot 10^{-2}$	0,34	$3,28 \cdot 10^{-4}$	2,05

Среднее отклонение в табл. 2.5 расчетных данных от экспериментальных по абсолютной величине составляет 2 %.

Также было выполнено сравнение скоростей расплавления голого (непокрытого) стержня и покрытого электрода (табл. 2.5).

Как и для покрытого электрода для стержня скорость расплавления на обратной полярности выше. Соотношение начальных скоростей для тока 130 А 1,73, для тока 80 А 1,24.

Соотношение начальных скоростей для голого и покрытого электродов для обратной полярности 1,59 на токе 130 А и 1,41 на токе 80 А.

Для данных, приведенных в табл.2.5 рассчитывали начальный коэффициент расплавления по методике, предложенной в работе [22], конечную скорость расплавления покрытой части электрода, среднюю скорость расплавления покрытой части электрода, средний коэффициент расплавления покрытой части и производительность расплавления. Обозначения характеристик сведены в табл.2.6

Обозначения исследуемых параметров

Наименование параметра	Обозначение параметра
Начальный коэффициент расплавления из опыта, г/(Ач)	α_{00}
Начальный коэффициент расплавления расчетный, г/(Ач)	α_{op}
Средний коэффициент расплавления, г/(Ач)	α_c
Средняя скорость расплавления, см/с	$V_{эс}$
Конечная скорость расплавления, см/с	$V_{эк}$
Производительность расплавления, г/ч	Π

Для определения конечной скорости расплавления интегрировали выражение (2.2), которое дает длину расплавленной части и решали полученное квадратное уравнение относительно времени. После этого рассчитывали среднее значение скорости расплавления и средний коэффициент расплавления.

Расчетный метод определения начальной скорости расплавления для дуги обратной полярности заключается в том, что начальный коэффициент расплавления принимается как для голого электрода при сварке под флюсом и уменьшается во столько раз, во сколько приведенная плотность электрода больше плотности стержня. Поскольку, в соответствии с табл. 2.1, приведенная плотность электродов ОК 53.70 диаметром 3,2 мм составляет $11,09 \text{ г/см}^3$, то начальный коэффициент расплавления будет $\alpha_{op} = 11,6 / (11,09/7,8) = 8,16 \text{ г/Ач}$.

Таблица 2.7

Основные параметры электродов в соответствии с данными табл. 2.5

Электроды LB-52U d=3,2 мм					
Ток, А	Полярность	α_{00}	α_{op}	α_c	Π , г/ч
140	обратная	8,12	8,13	9,62	1347
	прямая	7,14	6,48	8,60	1205
	обратная	9,85	8,13	10,66	959

90	прямая	8,59	5,7	9,4	847
Электроды ОК 53.70 d=3,2 мм					
130	обратная	7,52	8,16	9,45	1228
	прямая	6,99	6,35	8,63	1122
80	обратная	8,52	8,16	9,92	794
	прямая	7,1	5,6	8,9	712
Стержень ОК 53.70 d=3,2 мм					
130	обратная	11,92	11,6	12,2	1580
	прямая	6,9	9,0	10,8	1402
80	обратная	11,99	11,6	13,85	1108
	прямая	9,66	8,0	10,8	861

Для расчета α_{op} на обратной полярности для голого стержня была использована формула, приведенная в [13]. При этом обращает на себя внимание, что она дает существенно отличающиеся результаты на токе 130 А (расчетное значение на 28% выше), в то время как на токе 80 А меньше уже расчетное значение (на 16%).

По данным табл. 2.7 можно сделать вывод, что методика определения α_o , предложенная в [22,23] не подходит для дуги прямой полярности. Причиной может являться то, что формула для голой проволоки, приведенная в работе [13], не действует в области малых токов.

Для дополнительной проверки полученных результатов были выполнены следующие эксперименты. Два одинаковых электрода одной марки расплавлялись дугой косвенного действия, горевшей между ними (рис.2.9). Один из электродов закреплялся в штативе горизонтально с подводом к оголенной части полюса сварочного источника питания. Другой электрод сварщик подавал с помощью обычного электрододержателя в направлении первого по мере его расплавления. Горизонтальное расплавление электродов приводило к тому, что капли электродного металла беспрепятственно падали на подложку из стальной пластины. При зажигании дуги включался секундомер. При достижении почти полного расплавления покрытия одного из электродов дугу гасили. После этого

замеряли длины расплавленной части каждого из электродов. Расчетом определяли среднюю скорость расплавления каждого электрода, средний коэффициент расплавления и производительность расплавления П. Опыты проводились на минимальном и максимальном рекомендуемых для данной марки электрода токах. Опыты повторяли путем переключения полярности источника питания на электрододержателе. Т. о., для одной полярности электрода каждый опыт повторялся два раза.

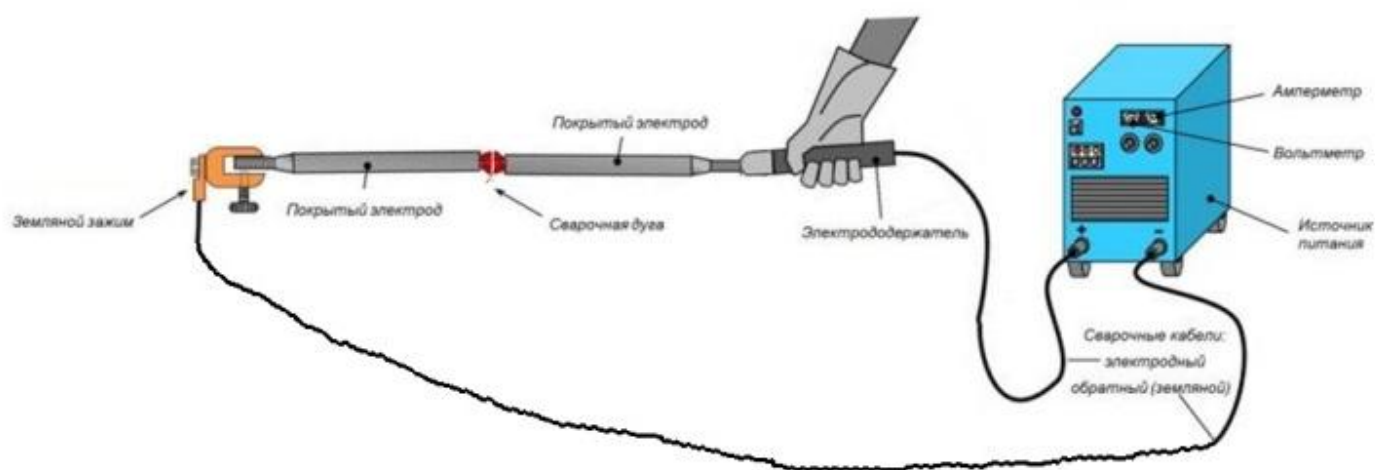


Рис. 2.9. Схема опыта для дуги косвенного действия на постоянном токе

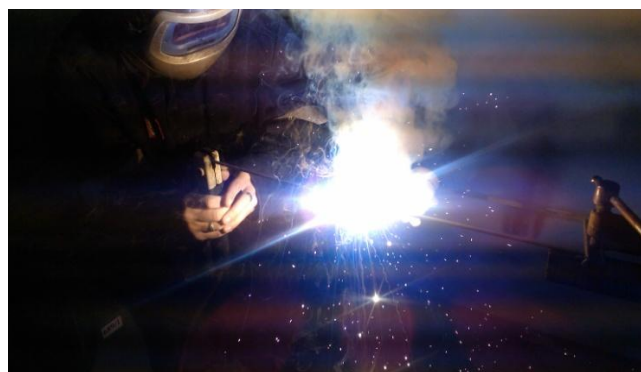




Рис.2.10. Зажигание и горение дуги в опытах с дугой косвенного действия
 Визуально сразу было видно, что электрод плавится быстрее, когда он является анодом. При проведении опытов были отмечены некоторые особенности горения дуги в зависимости от полюса, подключенного к электрододержателю. Результаты опытов для электродов марки ОК 53.70 приведены в табл. 2.8

Таблица 2.8

Форма записи при выполнении опытов

Ток дуги, А	Время горения, с	Длина сторевшей части, см	
		Держатель +	Электрод (-)
60	70,97	30,8	28,3
85	54,78	30,5	28,0

Примечание: диаметр электрода $d= 2, 5$ мм.

По длине расплавившейся части сразу видно, что скорость расплавления при положительном электроде на обоих токах на 10,8-10,9% больше.

Формула для расчета среднего коэффициента расплавления [15]

$$\alpha_p = 3600 \cdot V_{эс} \cdot \rho / j, \quad (2.3)$$

где $V_{эс}$ - средняя скорость расплавления электрода, см/с; j - плотность тока, А/см². Плотность стального стержня принималась $\rho=7,85$ г/см³. Результаты расчетов сведены в табл. 2.9

Таблица 2.9

Результаты расчетов по опытам с дугой косвенного действия

Iд, А	J, А/см ²	V _{эс} , см/с		α _р , г/(Ач)		Π= α _р I _д , г/ч	
		Д+	Э-	Д+	Э-	Д+	Э-
60	1222	0,434	0,399	10,04	9,23	602	554
85	1731	0,557	0,511	9,09	8,34	773	709

Получилось, что для электродов данной марки коэффициент расплавления несколько снижается с увеличением тока от минимального до максимального. Отклонение от среднего значения коэффициента расплавления находится в пределах 5%.

Аналогичные опыты для электродов ОК 53.70 были проведены для диаметра 3,2 мм. Результаты опыта приведены в табл. 2.10

Таблица 2.10

Исходные данные для электродов марки ОК 53.70

Ток дуги, А	Время горения, с	Длина сгоревшей части, см	
		Держатель +	Электрод (-)
80	91,37	30,3	27,8
130	58,30	30,1	27,9

Для данного диаметра электрода также скорость расплавления при положительном электроде на 10,8-10,9% выше, чем на отрицательном. Можно предположить, что соотношение производительностей для электродов одной марки на различных диаметрах не изменяется.

По данным табл. 2.10 также были выполнены расчеты, приведенные в табл. 2.11.

Результаты расчетов по опытам с дугой косвенного действия
для электродов ОК 53.70

Ид, А	J, А/см ²	V _{эс} , см/с		α _р , г/(Ач)		Π= α _р I _д , г/ч	
		Д+	Э-	Д+	Э-	Д+	Э-
80	995	0,332	0,304	9,43	8,63	754	690
130	1617	0,516	0,479	9,02	8,37	1172	1088

Для диаметра 3,2 мм коэффициент расплавления также уменьшился с увеличением тока. Отклонение от среднего значения коэффициента расплавления находится в пределах 2,2%, что более чем в два раза меньше электродов диаметром 2,5 мм.

Серия опытов с диаметром 3,2 мм была повторена с подключением электрододержателя не только к положительному, но и отрицательному электроду. Результаты опытов сведены в табл. 2.12.

Таблица 2.12

Исходные данные при подключении различных полюсов
к электрододержателю и штативу

Ток дуги, А	Время горения, с	Длина сгоревшей части, см	
		Держатель +	Электрод (-)
80	96,92	31,7	29,2
130	59,96	31,9	28,8
		Держатель (-)	Электрод +
80	98,0	27,6	31,0
130	60,51	29,3	31,1

При подключении электрододержателя к положительному полюсу соотношение производительностей сохранилось как и в предыдущей серии и составило для двух токов 10,8-10,9%. При дублировании опытов с подключением электрододержателя к отрицательному полюсу ситуация несколько изменилась.

На малом токе производительность отрицательного электрода меньше на 12,3%, а на большом только 6,4%. Среднее снижение производительности составляет 9,4%. Оно, практически одинаково с опытами, когда положительный электрод подключался к электрододержателю. Полученное отличие можно связать с отсутствием у сварщика навыка поддерживать сварочную дугу при отрицательном полюсе на держателе. Вследствие этого стабильность горения дуги может быть несколько снижена. Поэтому более достоверными можно считать результаты, полученные при подключении электрододержателя к положительному полюсу. Для данных табл. 2.12 также были выполнены расчеты (табл. 2.13).

Таблица 2.13

Расчетные данные по табл. 2.12

I _д , А	J, А/см ²	V _{эс} , см/с		α _р , г/(Ач)		Π= α _р I _д , г/ч	
		Д+	Э-	Д+	Э-	Д+	Э-
80	995	0,327	0,301	9,29	8,55	743	684
130	1617	0,532	0,480	9,30	8,39	1209	1091
		Д(-)	Э+	Д(-)	Э+	Д(-)	Э+
80	995	0,282	0,316	8,0	8,98	640	719
130	1617	0,484	0,514	8,46	8,98	1100	1168

Аналогичные опыты были выполнены также для электродов марки LB-52U диаметром 2,6 мм. Площадь сечения электрода в этом случае составляет 5,31 мм². Опыты проводились с подключением электрододержателя как к положительному, так и отрицательному полюсам источника питания. Результаты сведены в табл. 2.14.

Таблица 2.14

Результаты опытов с дугой косвенного действия для электродов LB-52U

Ток дуги, А	Время горения, с	Длина сгоревшей части, см	
		Держатель +	Электрод (-)
60	80,18	31,7	29,8
90	55,96	32,0	28,5
		Держатель (-)	Электрод +
60	80,32	28,6	31,3
90	56,69	27,8	31,6

При подключении электрододержателя к положительному полюсу соотношение производительностей сохранилось как и для марки ОК составило для двух токов 10,4-11,2%. Среднее значение составляет 10,6%. При дублировании опытов с подключением электрододержателя к отрицательному полюсу ситуация также несколько изменилась аналогичным образом. На малом токе производительность отрицательного электрода меньше на 10,9%, а на большом разница увеличилась до 13,7%. Среднее снижение производительности составляет 12,3%. Средне отличие производительности несколько выше, чем при подключении электрододержателя к положительному полюсу. Полученное отличие также можно связать с отсутствием у сварщика навыка поддерживать сварочную дугу при отрицательном полюсе на держателе. Вследствие этого стабильность горения дуги может быть несколько снижена. Поэтому более достоверными можно считать результаты, полученные при подключении электрододержателя к положительному полюсу. Для данных табл. 2.14 также были выполнены расчеты (табл. 2.15).

Таблица 2.15

Ид, А	J, А/см ²	V _{эс} , см/с		α _р , г/(Ач)		Π= α _р I _д , г/ч	
		Д+	Э-	Д+	Э-	Д+	Э-
60	1130	0,395	0,372	9,89	9,3	593	558

90	1695	0,572	0,509	9,53	8,49	858	764
		Д(-)	Э+	Д(-)	Э+	Д(-)	Э+
60	1130	0,356	0,39	8,9	9,75	534	585
90	1695	0,49	0,557	8,19	9,29	737	836

В этих опытах также наблюдается некоторое снижение коэффициента расплавления с увеличением тока дуги для любого полюса на электроде. Поэтому производительность расплавления отстает от роста тока.

В целом подводя итоги определения влияния полярности на производительность расплавления электродов можно заметить, что результаты косвенного измерения путем определения коэффициентов в уравнении и прямых опытов с дугой косвенного действия совпадают достаточно хорошо.

Рассмотрим формулы для коэффициентов расплавления электродов при сварке под флюсом, приведенные в [13] и оценим возможность их применения для ручной сварки покрытыми электродами. Для прямой полярности и нулевого вылета электрода формула имеет вид

$$\alpha_p^0 = 6,3 + (70,2 \cdot 10^{-3} / d_3^{1,035}) I_d \quad (2.4)$$

В этой формуле диаметр электрода d_3 берется в мм, ток дуги в А.

Для дуги под флюсом обратной полярности $\alpha_p^0 = 11,6 \pm 0,4$ г/(А·ч). Приравняв значения α_p^0 для прямой и обратной полярности, получим значение тока, при котором коэффициенты расплавления одинаковы.

$$I_d = 75,5 d_3^{1,035} \quad (2.5)$$

Величина такого тока почти пропорциональна диаметру электрода. При токах больше, чем полученные по формуле (2.5), производительность расплавления будет больше на прямой полярности дуги. При токе 600 А и диаметре электрода 4 мм будем иметь для прямой полярности 16,43 г/(А·ч). Граничное значение тока 317 А. Формула справедлива для голой электродной проволоки. Для диаметра электрода 2,6 мм предельное значение тока 203 А, а для диаметра 3,2 мм – 252 А. При использовании формулы для покрытых электродов предельное значение токов нужно снижать во столько раз, во сколько приведенная плотность электрода

больше плотности стержня. Согласно табл. 2.2 имеем приведенную плотность для электродов ОК 53.70 $11,9 \text{ г/см}^3$, для электродов LB-52U $11,1 \text{ г/см}^3$. Поэтому для электродов ОК диаметром 3,2 мм критическое значение тока $7,85 \cdot 252 / 11,1 = 178 \text{ А}$. Это намного больше рекомендуемого максимального тока для электродов. Поэтому закономерно, что производительность расплавления покрытых электродов этой марки меньше на прямой полярности дуги.

Для электродов марки LB -52U аналогично критический ток при диаметре 2,6 мм 143 А также намного больше рекомендуемого максимального тока 90 А. Поэтому формулой (2.4) не следует пользоваться для определения начальной скорости расплавления покрытых электродов для прямой полярности дуги. В табл. 2.7 такие расчетные данные выделены курсивом.

2.4. Результаты исследования скорости расплавления электродов марок МТГ-01К и 16 W

Диаметр стержня электродов МТГ-01К составлял 3,0 мм, а электродов 16 W – 2,6 мм. Результаты определения параметров расплавления покрытых электродов представлены в табл. 2. 16.

Таблица 2.16

Коэффициенты формулы 2.1

Электроды МТГ-01К d=3,0мм					
Ток, А	Полярность	L_0 , см	V_1 , см/с	V_2 , см/с ²	$\Delta L/L_p$, %
130	обратная	$2,5 \cdot 10^{-2}$	0,444	$1,8 \cdot 10^{-3}$	2,65
	прямая	$5,0 \cdot 10^{-2}$	0,378	$3,33 \cdot 10^{-3}$	1,35
90	обратная	$-1,0 \cdot 10^{-2}$	0,357	$2,84 \cdot 10^{-4}$	1,2
	прямая	$1,19 \cdot 10^{-1}$	0,279	$8,73 \cdot 10^{-4}$	6,5
Электроды 16 W d=2,6 мм					
100	обратная	$-3,7 \cdot 10^{-2}$	0,372	$2,78 \cdot 10^{-3}$	6,1
	прямая	$2,3 \cdot 10^{-2}$	0,529	$2,12 \cdot 10^{-3}$	0,5

50	обратная	$1,17 \cdot 10^{-1}$	0,263	$1,02 \cdot 10^{-4}$	6,0
	прямая	$4,1 \cdot 10^{-2}$	0,287	$1,73 \cdot 10^{-4}$	1,2

В целом результаты по электродам марок МТГ-01К и 16 W аналогичны результатам по электродам LB=52U и ОК 53.70. Несколько повышенные отклонения расчетной длины от опытных значений, достигающее до 6% следует отнести к недостаточной аккуратности сварщика. В этих случаях имеем высокие значения и коэффициента L_o , превышающего 1мм. В то же время такая погрешность при длине покрытия 328 мм вполне допустима.

2.5. Исследование расплавления электродов МР-3 и МР-3С

Несмотря на то, что электроды марок МР-3 и МР-3С не рекомендованы на предприятиях АК ОАО «Транснефть», их исследование представляет интерес в связи с большим объемом работ, выполняемых в других отраслях. Также представляет интерес, насколько марка МР-3С, появившаяся в последние годы, близка по своим характеристикам к марке МР-3, так как налицо явное использование бренда популярной марки.

Таблица 2.17.

Результаты определения параметров расплавления покрытых электродов

Электроды МР-3 d=3,0 мм					
Ток, А	Полярность	L_o , см	V_1 , см/с	V_2 , см/с ²	$\Delta L/L_p$, %
100	обратная	$3,64 \cdot 10^{-2}$	0,437	$3,38 \cdot 10^{-4}$	2,7
	прямая	$1,73 \cdot 10^{-2}$	0,406	$1,388 \cdot 10^{-3}$	1,2
140	обратная	0,125	0,517	$2,805 \cdot 10^{-3}$	2,3
	прямая	$8 \cdot 10^{-2}$	0,478	$4,528 \cdot 10^{-3}$	1,9
Электроды МР-3С d=3,0 мм					
100	обратная	$8,92 \cdot 10^{-4}$	0,479	$-5,34 \cdot 10^{-5}$	3,8
	прямая	$-4,69 \cdot 10^{-2}$	0,556	$4,83 \cdot 10^{-4}$	2,3
	обратная	$-3,82 \cdot 10^{-2}$	0,61	$1,02 \cdot 10^{-3}$	3,1

140	прямая	$6,17 \cdot 10^{-3}$	0,777	$9,45 \cdot 10^{-4}$	1,9
-----	--------	----------------------	-------	----------------------	-----

Электроды марки МР-3С имеют диаметр электрода с покрытием 4 мм в отличие от диаметра 5 мм для электродов МР-3. По-видимому, этим объясняется, что скорость расплавления электродов марки МР-3С выше, чем у МР-3. У электродов МР-3, также как и у электродов ОК 53.70 и LB-52U, скорость расплавления на обратной полярности выше, чем на прямой. У электродов МР-3С зависимость противоположная.

Выводы по главе 2

1. Плотности покрытий импортных электродов одной марки могут иметь значительный разброс в зависимости от отношения D/d_3 . Плотность электрода в целом, приведенная к объему стержня, при этом практически постоянна.
2. Линейный характер роста скорости расплавления электрода по времени подтвержден для ряда марок импортных и отечественных электродов не только для дуги обратной полярности, но и для дуги прямой полярности, а также для голого стержня электрода.
3. Разработанная методика опытов с расплавлением электродов дугой косвенного действия позволяет достоверно и просто определять соотношение скоростей расплавления электродов в зависимости от полярности дуги.
4. Производительность расплавления электродов на прямой полярности дуги на 10-15% ниже производительности на обратной полярности для большинства марок электродов.
5. Применение понятия приведенной плотности позволяет с достаточно высокой точностью рассчитывать начальную скорость расплавления покрытых электродов на обратной полярности по скорости плавления проволок.
6. Для прямой полярности определение начальной скорости расплавления требует уточнения известной формулы в области малых токов.

ГЛАВА 3. ВЛИЯНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ РАСПЛАВЛЕНИЯ ПОКРЫТЫХ ЭЛЕКТРОДОВ

3.1. Определение зависимости скорости расплавления электрода от тока дуги

В работах [21,22] установлено, что скорость расплавления электрода связана со временем горения дуги линейной зависимостью. Коэффициент пропорциональности для данной марки электрода зависит от диаметра стержня и тока дуги. Наиболее интересно определение вида зависимости скорости расплавления от тока дуги. Представляли зависимость коэффициента пропорциональности в виде степенной функции

$$V(t) = V_0 + A \cdot I^M \cdot t. \quad (3.1)$$

Поскольку известны граничные рекомендуемые паспортом токи на электроды, то можно записать систему уравнений

$$V_1 - V_{01} = A \cdot I_1^M \cdot t_1, \quad (3.2)$$

$$V_2 - V_{02} = A \cdot I_2^M \cdot t_2, \quad (3.3)$$

где t_1, t_2 – время расплавления покрытия электрода в 1-ом и 2-ом опытах; V_1, V_2 – максимальные скорости расплавления электрода в конце расплавления покрытия для токов I_1 и I_2 соответственно.

I_2 – это максимально допустимый ток для полной длины электрода ;

I_1 – соответственно минимальный ток, рекомендуемый паспортом на электроды.

Составив отношение выражений (3.2) и (3.3), получим значение показателя степени M . Затем из любого уравнения (3.2,3.3) рассчитывается коэффициент A .

После этого можно составить уравнение для отыскания необходимой скорости расплавления в конце расплавления любой длины покрытой части электрода без перегрева его покрытия. В табл. 3.1 приведены исходные данные и расчетные значения коэффициентов для электродов марок LB-52U и ОК 53.70.

Таблица 3.1

Расчет коэффициентов М и А для формулы (3.1)

Ток, А	V_o , см/с	V_k , см/с	$\alpha_{po}, \Gamma/(Ac)$	t, с	М	А
LB-52U, d=3,2 мм						
140	0,50	0,70	$2,2 \cdot 10^{-5}$	55	2,835	$2,99 \cdot 10^{-9}$
90	0,39	0,47	$2,7 \cdot 10^{-5}$	77		
ОК 53.70 d=3,2 мм						
130	0,43	0,67	$2,07 \cdot 10^{-5}$	60,2	2,786	$5,15 \cdot 10^{-9}$
80	0,29	0,39	$2,39 \cdot 10^{-5}$	97,0		

Значения показателя степени оказались достаточно близкими, а коэффициент пропорциональности существенно зависит от марки электрода. Среднее значение показателя степени по данным двух марок электродов одинакового диаметра $M=2,8105$. Ошибка при использовании среднего значения показателя степени М будет составлять при токе 90 А порядка 10%, что нежелательно. Поэтому для каждой марки электрода коэффициенты формулы (3.1) нужно определять отдельно.

Предложенную методику использовали для расчета допустимого значения тока, который не вызывает перегрева покрытия электрода при расплавлении половины длины покрытия. Исходили из того, что в этом случае максимальная скорость расплавления должна быть равна скорости расплавления в конце плавления целого электрода на максимально допустимом токе.

$$V_3 = V_2 = V_{o3} + A \cdot I_3^M t_3, \quad (3.4)$$

где V_{o3} – начальная скорость расплавления при искомом токе дуги; I_3 – искомый ток дуги для расплавления половины длины покрытия, А; t_3 – искомое время расплавления половины длины покрытия, с.

Начальная скорость расплавления V_{o3} , как и любая другая начальная скорость, может быть выражена через начальный коэффициент расплавления электрода

$$V_{o3} = \alpha_{po} \cdot J / \rho, \quad (3.5)$$

где α_{po} - начальный коэффициент расплавления электрода при зажигании дуги при нулевом подогреве вылета, г/(А·с); J – плотность тока дуги на электроде, А/см²; ρ - плотность металлического стержня, г/см³.

Тогда выражение (3.4) с учетом (3.5) можно представить в виде

$$V_3 = V_2 = 4 \cdot \alpha_{po} \cdot I_3 / (\pi D \varepsilon^2 \rho) + A \cdot I_3^M t_3, \quad (3.6)$$

Вторым независимым уравнением является интеграл по времени t по выражению (3.6), который должен давать выбранную длину расплавляемой покрытой части. Значение такого интеграла:

$$L_3 \cdot \varphi = 4 \alpha_{po} \cdot I_3 \cdot t_3 / (\pi D \varepsilon^2 \rho) + A \cdot I_3^M t_3^2 / 2, \quad (3.7)$$

где φ – доля длины от полной длины L_3 покрытия стандартного электрода известной конструкции. Решение системы уравнений (3.6-3.7) при найденных ранее значениях коэффициентов A и M дает значение тока I_3 и времени сгорания t_3 выбранной длины $L_3 \cdot \varphi$ покрытой части. Для электродов марки LB-52U предварительно было скорректировано расчетное время расплавления полной длины, при рекомендуемом максимальном токе 130 А. Данные расчетов приведены в табл.3.2.

Таблица 3.2

Значения параметров при расплавлении половины длины покрытой части

I_3, A	$V_o, \text{см/с}$	$t_3, \text{с}$	$+\Delta I/I, \%$	$-\Delta t/t, \%$
LB-52U				
150	0,53	28,0	15,4	7,6
ОК 53.70				
155	0,49	28,2	19,2	6,3

После этого проводили опыты на рассчитанном токе сварки по расплавлению половины покрытой части электрода. Сравнивали расчетное и опытное время сварки. В результате сходимость расчетных и опытных значений по абсолютной величине составила 2%. Для электродов LB-52U выше повышение производительности расплавления электродов и меньше приращение тока, а для электродов ОК 53.70 – наоборот.

Используем найденные коэффициенты для расчета средних скоростей расплавления электрода, полученных выше (табл. 2.10).

Расчет для тока 80 А.

Начальную скорость расплавления для обратной полярности найдем с помощью коэффициента для дуги под флюсом. 7,48 г/(А·ч). Тогда $V_0=0,265$ см/с.

$$V_k = V_0 + 80^{2,786} \cdot 5,15 \cdot 10^{-9} = 0,265 + 91,37 \cdot 1,032 \cdot 10^{-3} = 0,359 \text{ см/с.}$$

$$V_c = (0,265 + 0,359) / 2 = 0,312 \text{ см/с.}$$

Для тока 130 А

$$V_0 = 0,43 \text{ см/с. } V_k = V_0 + 130^{2,786} \cdot 5,15 \cdot 10^{-9} = 0,43 + 58,3 \cdot 4 \cdot 10^{-3} = 0,663 \text{ см/с.}$$

$$V_c = (0,43 + 0,663) / 2 = 0,547 \text{ см/с.}$$

Сходимость расчетных и измеренных средних скоростей удовлетворительная, учитывая, что электроды располагались горизонтально и это могло влиять на процессы формирования капель.

3.2. Определение зависимости средней скорости расплавления электрода от тока

Для разработки оптимальной технологии ручной сварки и более точного нормирования сварочных работ необходимо знать зависимость коэффициента расплавления электрода от тока дуги. Это можно выполнить по приведенной выше методике, определив для двух значений тока коэффициенты уравнения. Это требует построения двух зависимостей скорости расплавления от тока, чтобы можно было определить начальную скорость расплавления электрода. Начальную скорость можно для обратной полярности рассчитать по начальному коэффициенту расплавления. Необходимо проводить несколько опытов на каждом токе по расплавлению 0,5 длины электрода и целого электрода. Возможно применение и другой методики определения коэффициентов в уравнении (2.1). Можно получить зависимость средней скорости расплавления от тока дуги и использовать полученную зависимость для определения коэффициентов или непосредственно для расчетов. Для этого

были выполнены специальные эксперименты, которые проводились при наплавке электродами на пластину на обратной полярности дуги. Значения токов были выбраны на границах рекомендуемого диапазона и в его середине. Использовали электроды марок ОК 53.70 и LB-52U. Результаты опытов для электродов марки ОК приведены в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Зависимости времени расплавления покрытия от тока дуги

I, А	J, А/см ²	t, с	Lс, см
60	1222	78,33	31,14
72	1466	63,32	31,09
85	1731	53,85	31,39

Примечание: $d = 2,5$ мм, $S = 4,91$ мм²,

При расчетах коэффициента расплавления принимали плотность $\rho = 7,85$ г/см³.

Таблица 3.4

Опытные данные по скорости и коэффициенту расплавления

I _д , А	V _{эс} , см/с	$\alpha_{рс}$, г/(Ач)	$\Pi = \alpha_p I_d$, г/ч
60	0,398	9,2	552
72	0,491	9,46	681
85	0,583	9,52	809

Среднее значение для трех токов в табл. 3.4 $\alpha_{рс} = 9,37$ г/(А·ч). Отклонения: $0,17/9,37 = 1,8\%$ и $0,09/9,37 = 1,0\%$, а также $0,15/9,37 = 1,6\%$. Среднее отклонение по абсолютной величине $1,47\% = 1,5\%$. Это можно отнести к случайным отклонениям. Поэтому среднюю скорость расплавления электрода от тока можно рассчитывать по среднему α_p . То же самое относится и к производительности расплавления.

Аналогичные опыты были выполнены для электродов LB-52U (табл. 3.5).

Таблица 3.5

Зависимости времени расплавления покрытия от тока дуги

I, А	J, А/см ²	t, с	Lс, см
60	1130	79,65	29,59
75	1412	67,1	30,51
90	1695	56,06	30,59

Примечание: $d=2,6$ мм, $S= 5,31$ мм².

Расчеты приведены в табл. 3.6.

Таблица 3.6

Опытные данные по скорости и коэффициенту расплавления

Iд, А	V _{эс} , см/с	α_p , г/(Ач)	$\Pi = \alpha_p I_d$, г/ч
60	0,372	9,29	557
75	0,455	9,1	683
90	0,546	9,1	819

Среднее значение $\alpha_p = 9,16$ г/(А·ч); Отклонения: $0,06/9,16 = 0,66\%$ и $0,13/9,16 = 1,4\%$. Среднее по абсолютной величине $0,9\%$. Это можно отнести к случайным отклонениям. Тогда среднюю скорость расплавления электрода от тока можно рассчитывать по среднему α_p . То же самое относится и к производительности расплавления.

У электродов марки LB-52U имеется, в отличие от ОК 53.70 тенденция к уменьшению α_p с увеличением тока.

Результаты расчета коэффициента расплавления электродов марки LB-52U сравнивали для опытов при горении дуги косвенного действия и при наплавке. Результаты сведены в табл. 3.7.

Таблица 3.7

Сравнение опытных данных по разным опытам

Ток, А	Дуга	
	Косвенного действия	Прямого действия
60	9,89	9,29
90	9,53	9,10

Получилось, что в дуге косвенного действия коэффициент расплавления положительного электрода на 5-6 % выше, чем при обычной наплавке. Это можно объяснить некоторым изменением условий формирования, отрыва и переноса капель электродного металла в зависимости от пространственного положения электрода.

3.3. Использование зависимостей для средней скорости расплавления для определения коэффициентов

Для использования данных необходимо проинтегрировать выражение (3.1).

Получим

$$L_э = V_0 t_c + A \cdot I^M t_c^2 / 2,$$

где $L_э$ - длина сгоревшего участка электрода, см; t_c - время горения дуги, с.

Средняя скорость расплавления

$$V_{эс} = L_э / t_c = V_0 + A \cdot I^M t_c / 2,$$

На основе этого выражения также можно получить три нелинейных уравнения для трех значений токов. Компьютерная программа для решения такой системы приводится в [43]. Если рассчитывать начальную скорость расплавления по коэффициенту расплавления для сварки под флюсом, то тогда достаточно проведение двух опытов и должно производиться решение системы двух уравнений. Используем полученные в табл. 3.6 данные для второго подхода. По трем опытам можно получить три системы из двух уравнений и решая их, сравнить полученные коэффициенты выражения 3.1.

Рассмотрим сначала систему для крайних значений тока 60 и 90 А, а затем выполним проверку для тока 75 А. Система будет иметь вид

Для тока 60 А

$$0,372 = V_{01} + A \cdot 79,65 \cdot 60^M / 2,$$

Для тока 90 А

$$0,546 = V_{02} + A \cdot 56,06 \cdot 90^M / 2,$$

Приведенная плотность LB-52U 11,1 г/см³. Тогда

$$V_{01} = 8,15 \cdot 1130 / (3600 \cdot 7,8) = 0,328 \text{ см/с.}$$

$$V_{o2}=0,328 \cdot 1,5=0,492 \text{ см/с.}$$

Система примет вид

$$0,044= A \cdot 79,65 \cdot 60^M / 2,$$

$$0,054 = A \cdot 56,06 \cdot 90^M / 2.$$

Разделив 2-е уравнение на 1-е, получим

$$1,2273 = 0,704 \cdot 1,5^M$$

Отсюда $M= 1,3728$. $A_1= 4,00176 \cdot 10^{-6}$. $A_2=3,99323 \cdot 10^{-6}$. Среднее значение $A_c=4 \cdot 10^{-6}$.

Рассчитаем теперь по этим данным значение средней скорости расплавления для тока 75 А. Начальное значение скорости равно половине скоростей при 60 и 90 А, то есть 0,41 см/с. Тогда

$$V_{oc}=0,41+ 67,1(4 \cdot 10^{-6} 75^{1,3728})/2 = 0,41+ 0,05 = 0,46. \text{ Опытное значение } 0,455 \text{ см/с.}$$

Аналогичные расчеты были выполнены для электродов марки ОК 53.70.

Рассмотрим сначала систему для крайних значений тока 60 и 85 А, а затем выполним проверку для тока 72 А. Система будет иметь вид

Для тока 60 А

$$0,398 = V_{o1}+ A \cdot 78,33 \cdot 60^M / 2,$$

Для тока 85 А

$$0,583 = V_{o2}+ A \cdot 53,85 \cdot 85^M / 2,$$

Приведенная плотность ОК 53.70 $\rho_{пр} = \dots \text{ г/см}^3$. Тогда

$$V_{o1}=8,15 \cdot 1222 / (7,8 \cdot 3600) = 0,328 \text{ см/с.}$$

$$V_{o2}=0,328 \cdot 1,417 = 0,465 \text{ см/с.}$$

Система примет вид

$$0,07= A \cdot 78,3360^M / 2,$$

$$0,118 = A \cdot 53,85 \cdot 85^M / 2.$$

Разделив 2-е уравнение на 1-е получим

$$1,6889 = 0,687 \cdot 1,417^M$$

$$1,417^M = 2,458.$$

Отсюда $M= 2,58$. $A_1= 4,619 \cdot 10^{-8}$. $A_2=4,61 \cdot 10^{-8}$. Среднее значение $A=4,615 \cdot 10^{-8}$.

Рассчитаем теперь по этим данным значение средней скорости расплавления для тока 72,0 А. Начальное значение скорости равно половине скоростей при 60 и 85 А, то есть 0,3965 см/с. Тогда

$V_{\text{ср}} = 0,3965 + 63,32(4,615 \cdot 10^{-8} 72^{2,58})/2 = 0,3965 + 0,18 = 0,577$. Опытное значение 0,583 см/с. Сходимость очень высокая.

Т. о., предлагаемая упрощенная методика с определением начальной скорости расчетным путем позволяет по двум опытам с высокой точностью рассчитывать коэффициенты уравнения и точно выполнять нормирование сварочных работ.

Выводы по главе 3.

1. Скорость расплавления импортных покрытых электродов, используемых для сварки корневых слоев ответственных конструкций, на максимальных токах увеличивается к концу расплавления в пределах 20-40%, что может привести к изменению доли участия основного металла в металле шва по его длине.
2. Коэффициент пропорциональности линейной зависимости скорости расплавления покрытого электрода от времени горения дуги возрастает примерно в третьей степени от тока дуги и зависит от свойств покрытия.
3. Неравномерность скорости расплавления покрытых электродов на минимальном токе рекомендуемого диапазона минимальна. Поэтому для снижения химической неоднородности корневых слоев швов соединений с разделкой кромок их целесообразно сваривать на минимальном токе рекомендуемого диапазона.
4. Максимальная скорость расплавления, достигаемая на максимальном рекомендуемом токе, может служить критерием для назначения повышенных токов при использовании для сварки неполной длины электрода.

ГЛАВА 4. СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАСПЛАВЛЕНИЯ ПОКРЫТЫХ ЭЛЕКТРОДОВ

4.1. Способ дуговой сварки штучными покрытыми электродами

На основе проведенных исследований был предложен ряд новых способов сварки покрытыми электродами, повышающими производительность труда. Они основаны на возможности в ряде случаев повысить плотность тока на электроде без опасности перегрева покрытия.

Известен применяемый для повышения производительности труда способ сварки наклонным электродом [21]. При сварке электрод закрепляют в штативе, устанавливаемом на поверхность изделия, через изолирующую подкладку и по мере его оплавления он опускается с обоймой под действием веса. Глубину проплавления и ширину шва регулируют изменением угла наклона электрода. Электрод после полного расплавления его покрытой части периодически заменяют. Однако этот способ, обеспечивая соответствие скорости подачи электрода скорости его расплавления, связанные с ручным характером процесса, не позволяет повысить скорость расплавления электрода в процессе сварки.

Известен способ ручной дуговой сварки штучным покрытым электродом, при котором перед сваркой устанавливают на источнике питания дуги сварочный ток, зажигают дугу и подают электрод в сварочную ванну в соответствии со скоростью его плавления, в процессе сварки регулируют ток дуги, формируя требуемую зависимость скорости плавления электрода от времени [20]. Этот способ позволяет повысить производительность расплавления электрода, однако является сложным, так как требует установки сложного регулирующего устройства в источник питания сварочной дуги.

Известно, что одной из причин значительно более низкой производительности ручной дуговой сварки покрытыми электродами по сравнению, например, с механизированной сваркой под слоем флюса, является использование низких плотностей тока на электроде, что обусловлено наличием большого вылета электрода при сварке. Это приводит к необходимости снижения тока дуги, во

избежание перегрева покрытия и ухудшения его свойств. Другой причиной является необходимость затрат времени на замену электрода.

Техническими результатами предлагаемого способа являются повышение производительности расплавления электродов, производительности сварки и производительности труда при сварке без использования сложного регулирующего устройства в источнике питания сварочной дуги.

В предлагаемом способе ручной дуговой сварки штучными покрытыми электродами, при котором перед сваркой устанавливают на источнике питания дуги сварочный ток, зажигают дугу и подают электрод в сварочную ванну в соответствии со скоростью его плавления и периодически заменяют электрод в электрододержателе.

В отличие от прототипа, перед сваркой на одном сварочном посту к полюсу источника питания подключают два и более электрододержателя с электродами, ток сварки на источнике питания дуги устанавливают обеспечивающим скорость расплавления в конце расплавления половины покрытой части электрода, равную скорости расплавления покрытой части в конце расплавления целого электрода, после расплавления половины первого электрода гасят дугу и продолжают сварку следующим электродом до расплавления половины длины его покрытой части, после расплавления половины длины каждого из всех подключенных электродов возобновляют сварку оставшейся частью первого электрода и после его полного расплавления поочередно возобновляют сварку оставшимися частями остальных покрытых электродов.

По одному из вариантов выполнения способа число подключаемых к одному полюсу источника питания сварочной дуги электрододержателей с электродами выбирают равным двум.

По другому варианту выполнения способа число подключаемых к одному полюсу источника питания сварочной дуги электрододержателей с электродами выбирают равным трем.

Сущность предлагаемого способа дуговой сварки штучными покрытыми электродами заключается в том, что при установке силы сварочного тока,

обеспечивающей при достижении расплавления половины покрытия целого электрода скорости его расплавления такой же, как при расплавлении электрода полной длины, обеспечивается повышение средней скорости расплавления двух половин электродов по сравнению со средней скоростью расплавления целого электрода. Соответственно уменьшается суммарное время расплавления двух половин электрода по сравнению со временем расплавления покрытия целого электрода. При этом не происходит перегрева покрытия в зоне половины электрода, приводящего к ухудшению его свойств. Увеличение тока сварки на электрод позволяет повысить глубину проплавления основного металла, повысить производительность сварки или сваривать без разделки кромок большую толщину металла. Использование сварщиком нескольких держателей, подключенных к одному полюсу источника питания дуги, создает предпосылки повышения производительности труда за счет экономии времени при замене электродов.

При работе одновременно нескольких сварщиков вспомогательный рабочий с низкой квалификацией может непрерывно осуществлять замену электродов, экономя время сварщиков с высокой квалификацией. После расплавления половины покрытия первого электрода в процессе сварки вторым электродом, первый электрод остывает до нормальной температуры и его температура не оказывает влияния на скорость расплавления при расплавлении оставшейся половины. То же самое имеет место со вторым электродом.

Экспериментально установлено, что скорость плавления покрытого электрода из-за нагрева его в вылете растет линейно в процессе его расплавления (см. 2.1).

Зависимость коэффициента B от тока дуги для конкретного диаметра электрода и покрытия можно представить в виде степенной функции (см. 2.2).

Если известны начальная и конечная скорости расплавления электрода для двух граничных токов рекомендуемого паспортом на электроды диапазона (например, минимального и максимального), то можно записать систему уравнений

$$V_1 - V_{01} = A \cdot I_1^M \cdot t_1, \quad (4.1)$$

$$V_2 - V_{02} = A \cdot I_2^M \cdot t_2. \quad (4.2)$$

где t_1, t_2 – время сгорания всего электрода в первом и втором опытах;

V_1, V_2 – максимальные скорости расплавления целого электрода в конце расплавления покрытия для токов I_1 и I_2 соответственно; I_2 – это максимально допустимый ток для целого электрода (полной длины);

I_1 – соответственно минимальный ток, рекомендуемый паспортом на электроды.

Составив отношение выражений (4.1) и (4.2) можно получить значение показателя степени M . Затем из каждого уравнения (4.4) и (4.5) нужно определить значения коэффициента пропорциональности A и рассчитать по двум полученным значениям среднее значение A . После этого можно составить уравнение для определения скорости расплавления в конце расплавления половины длины покрытия электрода.

Скорость к концу расплавления половины длины покрытия электрода должна быть такой же, как в конце расплавления полной длины покрытой части целого электрода, то есть V_2

$$V_2 = V_{03} + A \cdot I_3^M \cdot t_3, \quad (4.3)$$

где I_3 – искомый ток дуги для сварки до половины покрытия целого электрода, A ; t_3 – искомое время расплавления половины целого электрода, секунд.

Начальная скорость расплавления V_{03} может быть выражена через начальный коэффициент расплавления электрода.

Коэффициент расплавления α_{p0} для дуги обратной полярности практически не зависит от плотности тока. Для дуги прямой полярности, которая в наименьшей степени используется при сварке, есть небольшая зависимость, но можно определять α_{p0} , как полусумму значений, полученных при проведении опытов на токах I_1 и I_2 . Еще меньше зависимость α_{p0} для дуги переменного тока.

Тогда выражение (4.3) можно представить в виде

$$V_2 = 4 \cdot \alpha_{p0} \cdot I_3 / (\pi D \rho) + A \cdot I_3^M \cdot t_3, \quad (4.4)$$

В уравнении (4.4) два неизвестных - ток дуги I_3 и время горения t_3 . Поэтому требуется второе независимое уравнение. Это будет интеграл по времени t по выражению (4.4), который равен половине длины покрытой части электрода L_3 :

$$L_3/2 = 4\alpha_{p0} \cdot I_3 \cdot t_3 / (\pi D_3^2 \rho) + A \cdot I_3^M \cdot t_3^2 / 2. \quad (4.5)$$

Решение системы (4.4-4.5) при найденных ранее значениях коэффициентов A и M дает значение тока I_3 и времени расплавления t_3 половины длины покрытой части электрода.

На рис.4.1 показано изменение скоростей расплавления электрода от времени горения дуги при расплавлении покрытия целого электрода. Зависимости имеют линейный вид. Они получены путем дифференцирования экспериментально полученной и аппроксимированной с помощью метода наименьших квадратов зависимости длины расплавившейся части электрода от времени. Прямая 1 показывает зависимость скорости расплавления для электрода марки LB-52U диаметром 4 мм на токе $I_1=107$ А. Прямая 2, показывает скорость расплавления для того же электрода при токе $I_2=216$ А. Диаметр электрода с покрытием 6,5 мм. Площади под прямыми 1 и 2 представляют значения длины расплавившейся части электрода, то есть площади должны быть равны друг другу. Время расплавления на токе I_2 $t_2=66,7$ секунды, намного меньше (в 2 раза) времени расплавления на токе I_1 $t_1= 123,3$ секунды. Значения начальных скоростей расплавления V_{o1} и V_{o2} позволяют рассчитать начальные коэффициенты расплавления электрода данной марки и получить его среднее значение, используемое впоследствии для расчета необходимого тока сварки по предлагаемому способу. Получили среднее значение $\alpha_0=8,34$ г/(А·ч) = 0,0023 г/(А·с).

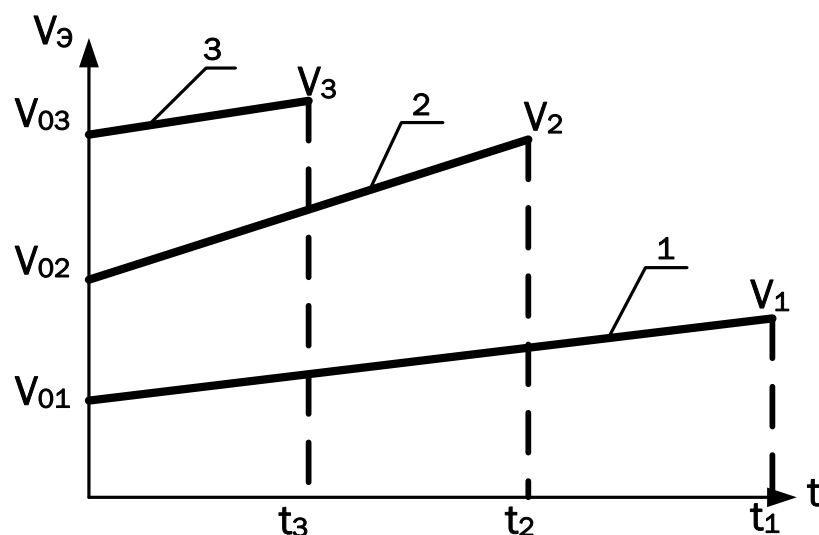


Рис. 4.1. Вид зависимостей скорости расплавления от времени горения дуги

Прямая 3 на рис. 4.1 показывает принцип определения значения времени t_3 , необходимого для расплавления половины длины покрытия. Максимальная скорость расплавления половины длины покрытой части электрода V_3 выбирается из условия равенства скорости в конце расплавления целого электрода V_2 . $V_3 = V_2$. Площадь под прямой 3 должна быть равна половине площади под прямой 2.

По данным зависимостей 1 и 2, приведенных на 4.1 рассчитывали, решая систему уравнений (4.4) и (4.5), значение коэффициентов A и M . Получили $M = 3,167$; $A = 1,213 \cdot 10^{-10}$. При решении время бралось в секундах, скорость в см/с, ток в Амперах.

На рис. 4.2 показан графический метод решения системы уравнений (4.4) и (4.5) по найденным значениям коэффициентов M и A . Кривая 1 на рис. 4.2 представляет изолинию для максимальной скорости V_2 , полученную с помощью уравнения (4.4). Для этого по выражению (4.4) строится несколько зависимостей для скорости расплавления электрода от времени горения дуги при ряде значений тока дуги. После этого, задав значение максимальной скорости V_2 , получают на этих зависимостях точки кривой изолинии. Аналогично с помощью выражения (4.5) строится изолиния 2 для половины длины покрытой части электрода. Точка пересечения изолиний Б дает необходимый для достижения скорости V_2 ток

дуги и время расплавления половины покрытой части электрода. Ток дуги составил $I_3=240$ А, время горения $t_3=30,3$ секунд.

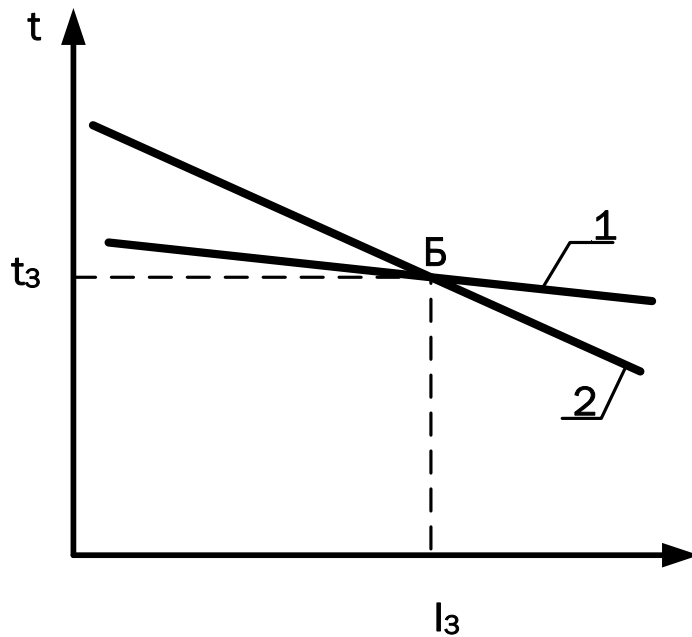


Рис.4.2. Графическое решение системы уравнений

В результате время расплавления двух половин покрытия электрода общей длиной 40 см сокращается на 6,1 секунд по сравнению с временем расплавления покрытия электрода полной длины. Итоговое расчетное повышение производительности расплавления составляет около 10%.

На рис. 4.3 показано схема подключения двух электрододержателей 1 и 2 с электродами 3 и 4 к положительному полюсу источника питания сварочной дуги 5 на одном сварочном посту. Отрицательный полюс источника питания 5 подключен к сварочному столу 6, на который устанавливается свариваемый узел 7.

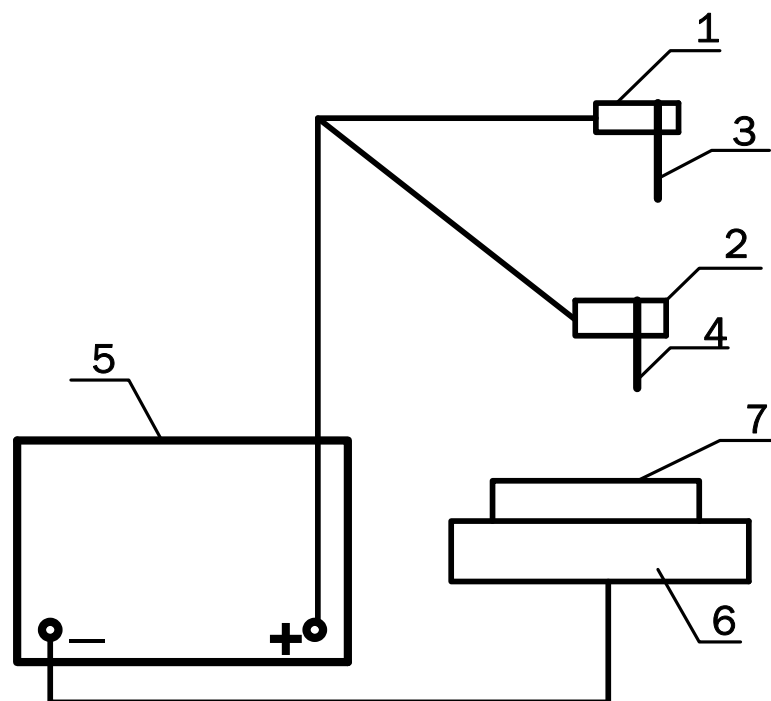


Рис. 4.3. Схема реализации способа

Пример 1. Выполняли сварку по предлагаемому способу электродами марки LB-52U диаметром 4 мм. Сварка велась на обратной полярности дуги. Предварительно была установлена максимальная скорость расплавления электрода для длины покрытой части 42 см на токе 190 А, рекомендуемом как максимальный для данной марки электрода. Она составила 0,62 см/с. Начальная скорость расплавления электрода составляла 0,44 см/с. Время расплавления покрытия на длине 42 см составило 79 секунд. Средняя скорость расплавления электрода 0,53 см/с. Путем решения системы уравнений (4.4) и (4.5) для длины покрытой части 21 см был определен необходимый ток дуги, обеспечивающий ее расплавление при достижении максимальной скорости. Этот ток $I_3 = 220$ А. Расчетное время расплавления половины покрытой части электрода составило 37 секунд. После этого установил расчетный ток дуги 220 А на источнике питания, подключили к положительному полюсу источника питания два электрододержателя с электродами марки LB-52U и произвели сварку по предлагаемому способу. В результате два электрода расплавили полностью на покрытом участке за 144 секунды. При этом перегрева и ухудшения свойств покрытия к концу расплавления половин покрытой части электродов не наблюдалось.

По известному способу время расплавления двух электродов составило 158 секунд. Таким образом, производительность расплавления выросла на 8,9 %. Допустимый сварочный ток увеличился на 16%.

Пример 2. На тех же режимах, что и в примере 1 выполняли сварку по предлагаемому способу при трех подключенных электрододержателях с электродами к положительному полюсу источника питания. Общее время сварки тремя электродами при полном расплавлении их покрытой части составило 240 секунд. По предлагаемому способу время расплавления покрытия на трех электродах 218 секунд. Повышение производительности расплавления составило 9,2 %.

Способ позволяет не только увеличить производительность расплавления электрода до 10%, что повышает производительность при сварке сварных соединений с разделкой кромок, но и позволяет повысить глубину проплавления основного металла за счет увеличения тока дуги примерно до 20%. Это, в свою очередь, позволяет увеличить глубину проплавления металла без разделки свариваемых кромок или повысить скорость сварки при сварке металла с толщиной, которая и ранее сваривалась без разделки кромок.

Кроме того, использование нескольких электрододержателей с электродами, подключенными к одному полюсу источника питания по предлагаемому способу создает предпосылки для повышения производительности труда путем выполнения операции по замене электрода не самим сварщиком, а другим рабочим с менее высокой квалификацией.

Способ может быть осуществлен с помощью известных устройств: любых сварочных источников питания для ручной дуговой сварки, стандартных электродов при сварке электродами любых марок.

4.2. Штучный покрытый электрод для дуговой сварки

Предлагаемый электрод предназначен преимущественно для машиностроения и строительства и может использоваться при ручной сварке и наплавке деталей металлическими плавящимися штучными покрытыми электродами.

Известен штучный покрытый электрод для дуговой сварки, содержащий металлический стержень с нанесенным на него концентрично покрытием и оголенную часть для подключения электрода к электрододержателю, а также переходный конический участок покрытия к оголенной части и контактный конец электрода без покрытия для зажигания дуги [23].

Электроды такой конструкции изготавливаются определенной длины, зависящей от диаметра электрода. При малых диаметрах электрода их изготавливают более короткой длины, чтобы рекомендуемые плотности тока на электроде не приводили к его перегреву в конце расплавления стержня.

Такая конструкция электрода не позволяет полностью использовать возможности повышения производительности его расплавления и производительности сварки, снижения отходов стержня и экономии времени на замену электрода.

Известен штучный покрытый электрод для дуговой сварки наклонным электродом, который содержит металлический стержень, с нанесенным на него концентрично покрытием и оголенную часть на конце стержня для подключения электрода к электрододержателю, а также переходный конический участок от оголенной части к покрытию и контактный конец электрода без покрытия для зажигания дуги.

При сварке электрод закрепляют в штативе, устанавливаемом на поверхность изделия через изолирующую подкладку и по мере его оплавления он опускается с обоймой под действием веса. Глубину проплавления и ширину шва регулируют изменением угла наклона электрода. Электрод после его полного сгорания периодически заменяют [21].

Такая конструкция электрода также не позволяет полностью использовать возможности повышения производительности его расплавления и производительности сварки, снижения отходов стержня и экономии времени на замену электрода.

Известно, что одной из причин значительно более низкой производительности ручной дуговой сварки и наплавки штучными покрытыми электродами по

сравнению, например, с механизированной сваркой под слоем флюса, является использование низких плотностей тока на электроде, что обусловлено наличием большого вылета электрода при сварке. Это приводит к необходимости снижения тока дуги, во избежание перегрева покрытия и ухудшения его свойств. Другой причиной низкой производительности является необходимость затрат времени на замену электрода. Производительность работ также снижается вследствие периодической замены электрода в электрододержателе. Ограничение тока дуги создает низкий предел глубины проплавления изделия, что приводит к тому, что данным способом можно сваривать без разделки кромок односторонние стыковые соединения толщиной до 4 мм, а двухсторонние – до 6 мм, что намного ниже, чем при механизированных способах дуговой сварки.

Техническими результатами предлагаемого изобретения является повышение производительности расплавления электродов, производительности сварки или предела толщин, свариваемых без разделки кромок и производительности труда при сварке, сокращение отходов металлического стержня.

Предлагаемый штучный покрытый электрод для дуговой сварки содержит металлический стержень, с нанесенным на него концентрично покрытием, оголенную часть стержня для подключения электрода к электрододержателю, переходный конический участок от оголенной части к покрытию и контактный конец электрода без покрытия для зажигания дуги.

В отличие от прототипа оголенную часть стержня с двумя коническими переходами покрытия к стержню помещают в центральной зоне стержня электрода с двумя контактными концами без покрытия.

Одним из вариантов выполнения покрытого электрода является расположение оголенной части точно по центру металлического стержня.

Другим вариантом выполнения конструкции электрода является смещение центра оголенной части до 0,1 длины стержня от центра всего стержня.

Сущность предлагаемого изобретения по конструкции электрода заключается в том, что она позволяет повысить допустимый сварочный ток на электрод без ухудшения из-за нагрева свойств его покрытия и, вследствие этого,

повысить производительность его расплавления, и повысить глубину проплавления детали, уменьшить относительную длину оголенной части электрода для подключения сварочного тока и, соответственно, уменьшить отходы металла, повысить производительность труда за счет повышения допустимой длины электрода и уменьшения частоты его замены в электрододержателе.

Конструкция электрода предполагает поочередное использование двух его покрытых участков для сварки. При предлагаемой конструкции штучного электрода сварочный ток дуги может быть увеличен до такого значения, который обеспечит скорость расплавления в конце расплавления одной из покрытых частей электрода такой же, как при расплавлении электрода полной длины для электрода известной конструкции, что обеспечивает повышение средней скорости расплавления двух половин электрода с оголенной частью по его центру, по сравнению со средней скоростью расплавления электрода известной конструкции при меньшей длине каждого из покрытых участков предлагаемой конструкции по сравнению с известной конструкцией.

Соответственно уменьшается время расплавления единичной длины предлагаемого электрода по сравнению со временем расплавления единичной длины покрытия электрода известной конструкции. При этом не происходит перегрева покрытия в зоне близкой к оголенной части предлагаемого электрода, приводящего к ухудшению его свойств.

Предлагаемая конструкция электрода позволяет до двух раз увеличить общую длину покрытой части электрода при увеличении производительности расплавления и без потери свойств покрытия. Такой вариант применения удлиненного электрода позволяет уменьшить число замен электродов в электрододержателе, уменьшить длину огарков, приходящуюся на единицу длины покрытой части.

Экспериментально установлено, что скорость плавления покрытого электрода известной конструкции из –за нагрева его в вылете растет линейно в процессе его расплавления (формула 2.2).

Зависимость коэффициента B от тока дуги для конкретного диаметра электрода и покрытия можно представить в виде степенной функции 3.1.

На рис. 4.4 показан вариант предлагаемой конструкции электрода. Электрод содержит металлический стержень 1 и концентрично расположенное покрытие 2. В центре металлического стержня 1 располагается оголенная часть 3 для закрепления электрода в электрододержателе, а остальную часть длины электрода составляет покрытие 2. Чтобы обеспечить повышение производительности расплавления электрода предлагаемой конструкции длина каждого покрытого участка предлагаемого электрода L_1 не должна превышать длину покрытой части электрода известной конструкции. Диаметр металлического стержня 1 электрода $D_э$, диаметр стержня электрода с покрытием $D_п$. Суммарная длина электрода L . Длина оголенной части предлагаемой конструкции электрода одинакова с длиной оголенной части известной конструкции.

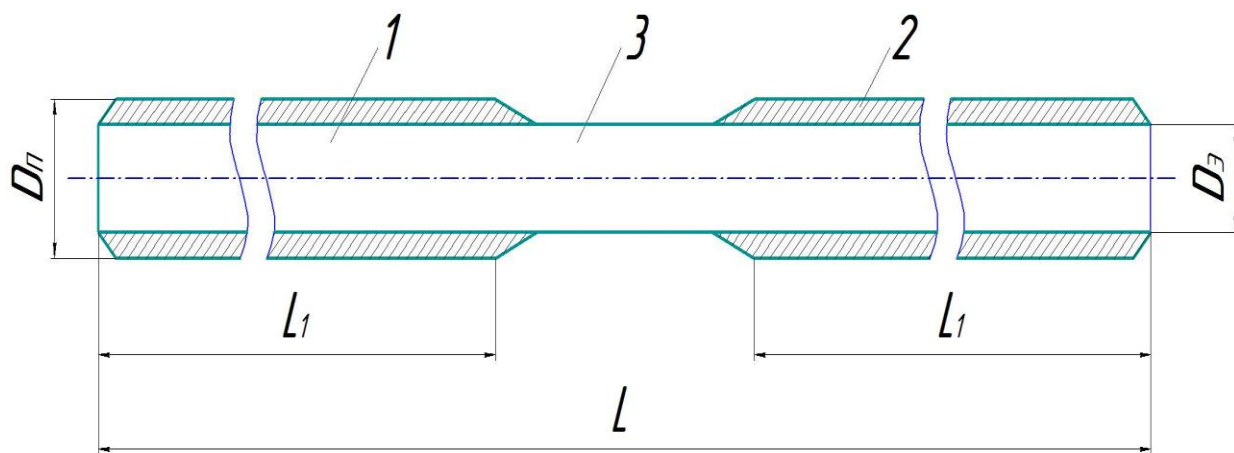


Рис.4.4. Предлагаемая конструкция электрода

На рис. 4.5. изображена предлагаемая конструкция электрода при смещении положения центра оголенной части от центра стержня. Место расположения центра оголенного участка 3, смещено относительно центра стержня 1. На остальной части стержня расположено покрытие электрода 2. Длина более длинного покрытого участка электрода L_1 , длина более короткого L_2 . Чтобы обеспечить повышение производительности расплавления электрода предлагаемой конструкции длина более длинного покрытого участка предлагаемого электрода L_1 не должна превышать стандартную длину покрытой части электрода известной конструкции.

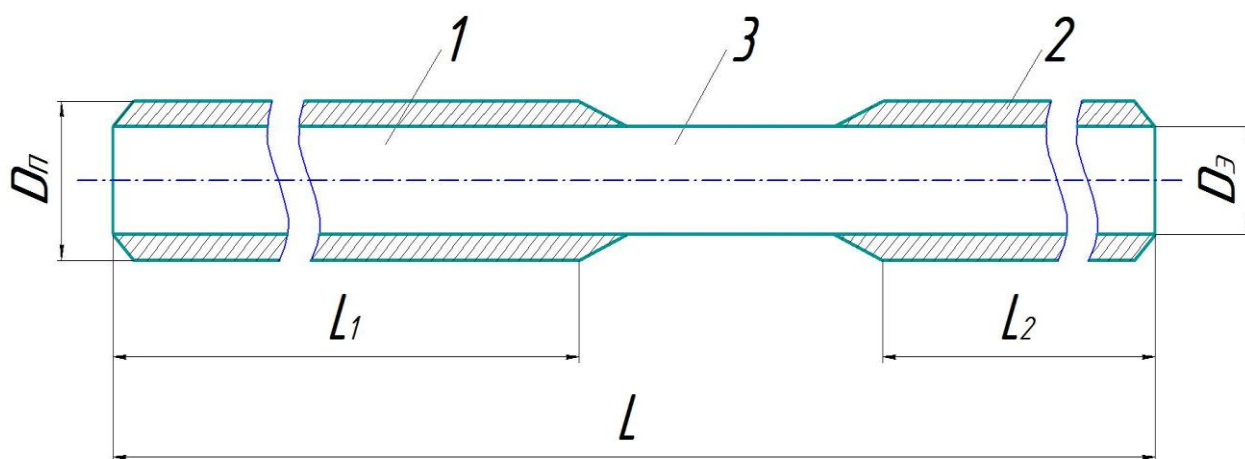


Рис. 4.5. Конструкция со смещением оголенной части электрода

На рис.4.6 показано изменение скоростей расплавления электрода от времени горения дуги при расплавлении всего покрытия целого электрода известной конструкции. Зависимости имеют линейный вид. Они получены путем дифференцирования экспериментально полученной и аппроксимированной с помощью метода наименьших квадратов зависимости длины расплавившейся части электрода от времени. Прямая V_1 показывает зависимость скорости расплавления для электрода марки LB-52U диаметром $D_э=4$ мм на токе 107 А. Прямая V_2 , показывает скорость расплавления для того же электрода при токе 216 А. Диаметр электрода с покрытием $D_п=6,5$ мм. Площади под прямыми V_1 и V_2 представляют значения длины расплавившейся части электрода, то есть площади равны друг другу. Время расплавления на токе $I_2=66,7$ секунды, намного меньше расплавления на токе $I_1=123,3$ секунды. Значения начальных скоростей расплавления V_{01} и V_{02} позволяют рассчитать начальные коэффициенты расплавления электрода данной марки и получить его среднее значение, используемое впоследствии для расчета необходимого тока сварки по предлагаемому способу. Получили среднее значение $\alpha_p=8,34$ г/(А·час) = 0,0023 г/(А·с).

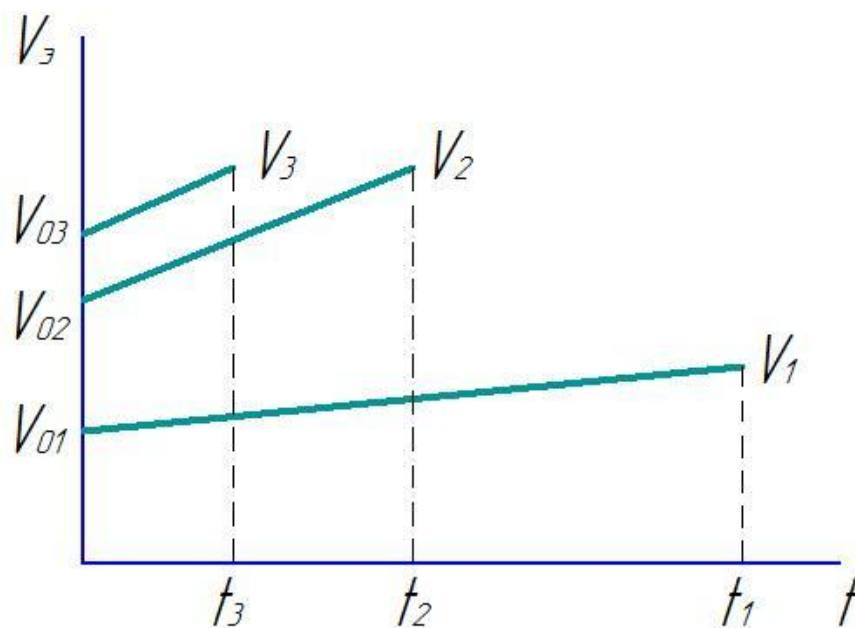


Рис. 4.6. К определению скорости расплавления предлагаемого электрода

Прямая V_3 на рис. 4.6 показывает принцип определения значений времени t_3 , необходимого для расплавления длины покрытия одной стороны покрытой части электрода предлагаемой конструкции в случае, если длина покрытия равна половине длины покрытия электрода известной конструкции и значения тока I_3 . Значение коэффициента φ в этом случае $\varphi = 0,5$. Значение конечной скорости расплавления электрода V_3 должно быть равно конечной скорости расплавления электрода известной конструкции V_2 . Площадь под прямой V_3 в этом случае должна быть равна половине площади под прямой V_2 , так как площадь характеризует длину покрытого участка электрода.

По данным зависимостей V_1 и V_2 , приведенным на рис. 4.6 рассчитывали, решая систему уравнений, значение коэффициентов A и M . Получили $M = 3,167$; $A = 1,213 \cdot 10^{-10}$. При этом размерности физических величин при решении системы уравнений (4.4) и (4.5) – времени – секунды, тока – амперы, плотности стержня – г/см^3 , скорости расплавления – см/с .

На рис. 4.7 показан графический метод решения системы уравнений при найденных значениях коэффициентов M и A . Кривая 1 на рис. 4.7 представляет изолинию в координатах «ток – время расплавления» для максимальной скорости V_2 , полученную с помощью уравнения (4.4). Для этого по выражению (4.4)

строится несколько зависимостей для скорости расплавления электрода от времени горения дуги при ряде значений тока дуги. После этого, задав значение максимальной скорости V_2 , получают на этих зависимостях точки кривой изолинии. Аналогично с помощью выражения (4.5) строится изолиния 2 для искомой длины покрытой части электрода. Точка пересечения изолиний Б дает необходимый для достижения скорости V_2 ток дуги и время расплавления половины покрытой части электрода. Для длины покрытой части 20 см ток дуги составил $I_3=240$ А, время горения $t_3=30,3$ секунд.

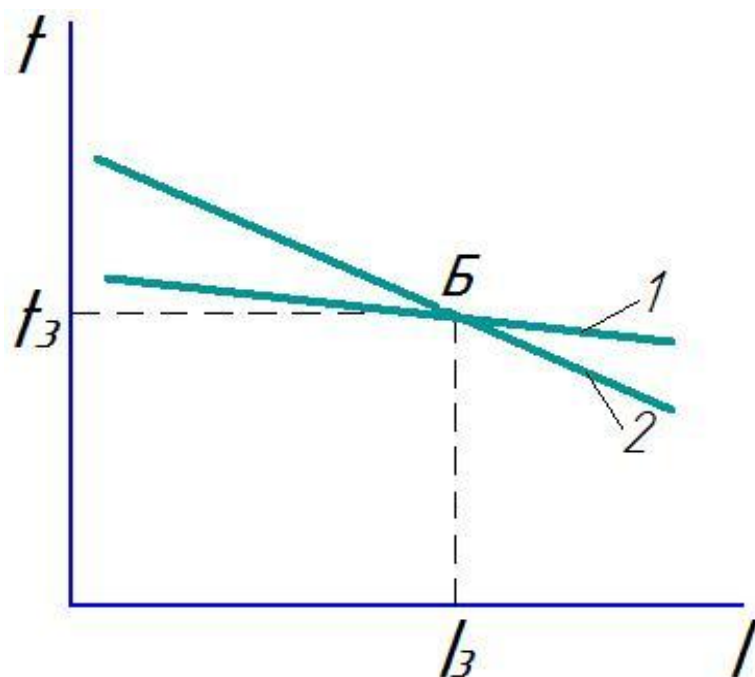


Рис.4.7. Графический метод определения тока дуги и времени горения

В результате время расплавления двух половин покрытия электрода общей длиной 40 см сокращается на 6,1 секунд по сравнению с временем расплавления покрытия такой же длины электрода известной конструкции электрода. Итоговое расчетное повышение производительности расплавления составляет около 10%.

На рис. 4.8 показана схема сварки предлагаемой конструкцией электрода. Сварка ведется от сварочного источника питания 1 на обратной полярности тока. Электрод 3 вставлен в электрододержатель 2 оголенной частью, расположенной в центральной части металлического стержня. Сварочная дуга 6 горит между электродом 3 и изделием 4, установленном на сварочном столе 5. В верхней

половине покрытого электрода 3 сварочный ток в рассматриваемый момент времени не протекает. После сгорания первой половины покрытой части электрода 3 сварщик гасит дугу 6, поворачивает электрод 3 и зажигает дугу снова на втором конце электрода 3 и ведет сварку до полного расплавления покрытой части.

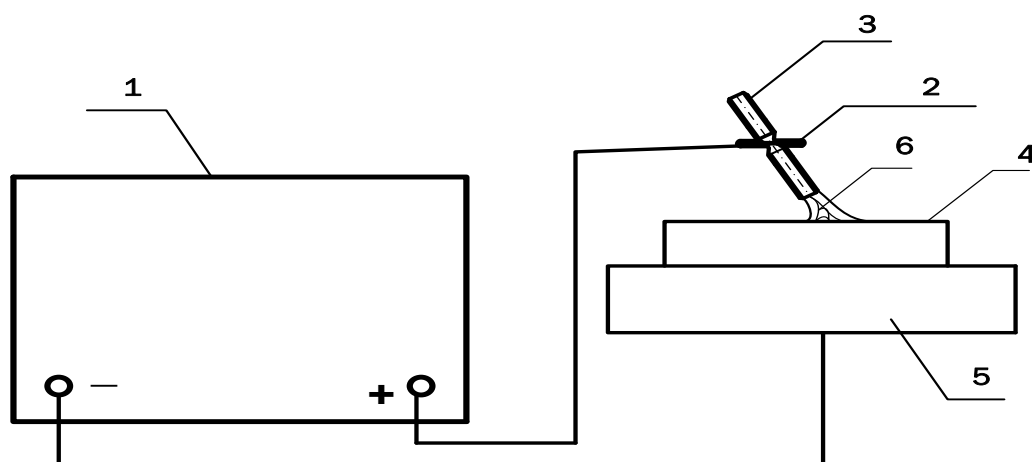


Рис. 4.8. Схема сварки предлагаемым электродом

Сварщик при использовании предлагаемой конструкции электрода зажигает дугу на одном из концов покрытой части электрода. При этом устанавливается ток дуги, обеспечивающий скорость расплавления в конце покрытой части перед оголенной частью такую же, как на максимально рекомендуемом для данной марки электрода токе при расплавлении всего электрода известной конструкции. После сгорания первой половины сварочного электрода сварщик гасит дугу и зажигает ее на втором конце покрытой части электрода. При этом общая длина покрытой части предлагаемой конструкции электрода может достигать удвоенной длины покрытой части известного электрода. Длина оголенной части предлагаемого электрода для подключения электрода к электрододержателю остается такой же, как у известной конструкции электрода. При сварке каждой из половин электрода, вторая половина не нагревается проходящим током, поэтому практически не оказывает влияния на процессы плавления расплавляемой части электрода.

При расположении оголенной части электрода со смещением до 0,1 длины металлического стержня относительно центра стержня должны использоваться разные токи. Для сварки с более коротким участком покрытия используется больший ток, а при сварке с участком покрытия большей длины используется меньший ток.

Пример 1.

Выполняли наплавку предлагаемой конструкцией электрода марки LB-52U с диаметром стержня 4 мм. Сварка велась на обратной полярности дуги. Электрод получали из электрода известной конструкции длиной 450 мм путем стачивания его оголенного участка длиной 30 мм. Точно по центру оставшейся длины стержня и покрытия был выполнен оголенный участок длиной 30 мм. Таким образом, длина покрытой части электрода осталась 390 мм, по 195 мм на каждую сторону от оголенного участка. Предварительно была установлена максимальная скорость расплавления электрода для длины покрытой части 42 см на токе 190 А, рекомендуемом как максимальный для данной марки электрода. Она составила 0,62 см/с. Начальная скорость расплавления электрода составляла 0,44 см/с. Время расплавления покрытия на длине 42 см составило 79 секунд. Средняя скорость расплавления электрода 0,53 см/с. Путем решения системы уравнений (4.4) и (4.5) для длины покрытой части электрода 19,5 см был определен необходимый ток дуги, обеспечивающий ее расплавление при достижении максимальной скорости. Этот ток $I_3 = 215$ А. Расчетное время расплавления половины покрытой части электрода составило 35 секунд. После этого установили расчетный ток дуги 215 А на источнике питания, подключили к положительному полюсу источника питания изготовленный электрод и произвели сварку. В результате две части электрода предлагаемой конструкции расплавились полностью на покрытых участках за 69 секунд. При известной конструкции электрода время расплавления на длине покрытия 39 см составило 74 секунды. Таким образом, производительность расплавления выросла на 6,8 %. Допустимый сварочный ток увеличился на 13%.

Пример 2. На тех же режимах, что и в примере 1 выполняли сварку предлагаемой конструкцией при расположении центра оголенного участка длиной 30 мм на расстоянии 42 мм от центра стержня длиной 420 мм, то есть на расстоянии 168 мм от одного из концов стержня. Электрод был изготовлен аналогичным образом из электрода стандартной длины. Длина одного покрытого участка составила $168 - 15 = 153$ мм, другого 237 мм. Суммарная длина покрытой части составила, как и в предыдущем примере 390 мм.

Предварительно была установлена максимальная скорость расплавления электрода для длины покрытой части 42 см на токе 190 А, рекомендуемом как максимальный для данной марки электрода. Она составила 0,62 см/с. Начальная скорость расплавления электрода составляла 0,44 см/с. Время расплавления покрытия на длине 42 см составило 79 секунд. Средняя скорость расплавления электрода 0,53 см/с. Путем решения системы уравнений (4.4) и (4.5) для длины покрытой части длиной 15,3 см был определен необходимый ток дуги, обеспечивающий ее расплавление при достижении максимальной скорости. Этот ток $I_3 = 225$ А. Расчетное время расплавления короткой части покрытия электрода составило 26 секунд.

Аналогично для длины покрытой части электрода 23,7 см определен необходимый ток дуги, обеспечивающий ее расплавление при достижении максимальной скорости. Этот ток $I_3 = 212$ А. Расчетное время расплавления длинной части покрытия электрода составило 42 секунды.

После этого установили расчетный ток дуги 212 А на источнике питания, изготовленный электрод с помощью электрододержателя подключили к положительному полюсу источника питания и зажгли дугу со стороны длинной части электрода. Время расплавления составило 41,5 секунды. После расплавления длинной части погасили дугу и изменили значение тока на источнике питания до 225 А. После этого вновь зажгли дугу для короткого участка. Время расплавления составило 25,5 секунд. Суммарное время расплавления составило 67 секунд. При известной конструкции электрода

время расплавления на длине покрытия 39 см составило 74 секунды. Таким образом, общее время расплавления электрода сократилось на 7 секунд.

Повышение производительности расплавления составило 9,5 %.

Пример 3.

Выполняли сварку электродом марки LB-52U предлагаемой конструкции с диаметром стержня 4 мм и длиной 60 см. Сварка велась на обратной полярности дуги. Электрод изготовили из двух электродов обычной конструкции длиной 450 мм путем стачивания их оголенных участков длиной 30 мм до 15 мм у каждого. После этого укорачивали каждый из электродов со стороны целого покрытия до длины 28,5 см. Затем соединяли оголенные концы оставшихся частей электродов с помощью медной муфты. Получили электрод с длиной покрытой части 57 см.

Аналогично примерам 1 и 2 определяли с помощью решения системы уравнений (4.4) и (4.5) значение требуемого тока для достижения допустимой скорости расплавления половин изготовленного электрода. Такой ток составил 207 А. Время расплавления половины покрытой части электрода длиной 28,5 см составило 51 секунду. При выполнении наплавки данным электродом на токе 207 А время расплавления покрытых участков электрода составило 101 секунду. Средняя скорость расплавления составила 0,564 см/с, что на 6,4% выше, чем у электрода известной конструкции. Сварочный ток повышается на 10%, что позволяет повысить глубину проплавления основного металла и производительность сварки.

При этом процент отходов стального стержня и время на замену электродов уменьшаются на 34%.

Конструкция предлагаемого электрода позволяет не только увеличить производительность расплавления электрода до 10%, что повышает производительность при сварке сварных соединений с разделкой кромок, но и позволяет повысить глубину проплавления основного металла за счет увеличения тока дуги примерно до 20%. Это, в свою очередь, позволяет увеличить глубину проплавления металла без разделки свариваемых кромок или повысить скорость

сварки при сварке металла с толщиной, которая и ранее сваривалась без разделки кромок.

Таким образом, с помощью данного электрода можно повысить скорость расплавления электродов без опасности их перегрева, увеличить ток сварки и, следовательно, глубину проплавления при увеличении общей длины покрытой части, что приведет к сокращению времени на замену электродов и снижению отходов оголенной части электродов.

Предлагаемый штучный покрытый электрод может быть изготовлен с помощью известных устройств и технологий, им можно выполнять сварку от любых сварочных источников питания для ручной дуговой сварки.

4.3. Способ дуговой сварки штучным покрытым электродом

Предлагаемый способ относится преимущественно к машиностроению и строительству и может использоваться при сварке и наплавке деталей металлическими плавящимися штучными покрытыми электродами.

Известен способ ручной дуговой сварки штучным покрытым электродом, включающий подачу электрода в сварочную ванну в соответствии со скоростью его плавления, по которому обеспечивают постоянную скорость плавления электрода во времени, при этом плотность тока дуги во времени регулируют в соответствии с математической формулой [20].

Способ не обеспечивает механизацию подачи электрода в сварочную ванну и в направлении сварки.

Известен способ сварки наклонным электродом, при которой происходит самоподача в зону дуги электрода с качественным покрытием, у которого нижний конец с выступающим краем покрытия опирается на изделие, в то время как верхняя часть электрода закрепляется в специальном скользящем электрододержателе. По мере оплавления электрод перемещается по направляющей вдоль линии сварки параллельно самому себе. Сечение сварочного валика регулируется изменением угла наклона электрода [24].

Этот способ, обеспечивая механизацию подачи электрода в сварочную ванну и в направлении сварки, является недостаточно надежным, так как стабильность перемещения зависит от свойств скользящего электрододержателя. Также при сварке могут возникать короткие замыкания при расплавлении нижнего конца покрытия с выступающим краем из-за нестабильности горения дуги. Сварку можно вести только электродами специальных марок, разработанных для этого способа. Способ не позволяет вести сварку в положении отличном от нижнего, так как перемещение электрода осуществляется за счет силы тяжести специального электрододержателя. Поэтому способ получил еще название гравитационного способа сварки. Вследствие этого способ также не позволяет реализовать сближение электрода со сварочной ванной за счет перемещения изделия к электроду, что бывает необходимым в ряде случаев.

Известно, что причиной неравномерности скорости расплавления покрытых электродов при сварке является наличие большого вылета электрода. Вылет электрода равен длине его стержня в начале плавления электрода и уменьшается по мере расплавления электрода. Чем ближе находится участок стержня к электрододержателю, тем больше он нагревается в процессе сварки и тем выше скорость его расплавления. Из-за неравномерности скорости расплавления электрода сложно автоматизировать процесс сварки.

Техническими результатами предлагаемого изобретения является повышение качества сварочных швов, надежности процесса сварки, создание возможности вести сварку в пространственных положениях, отличных от нижнего, вести сварку электродами любых марок, создание возможности подачи расплавленного электродного металла в сварочную ванну за счет перемещения изделия относительно электрода в направлении действия силы тяжести.

Предлагаемый способ дуговой сварки штучным покрытым электродом включает его закрепление в специальном электрододержателе, сближающимся с изделием в процессе горения дуги в соответствии со скоростью плавления электрода и перемещение сварочной ванны вдоль линии сварки с регулированием сечения наплавленного валика.

В отличие от прототипа, перед сваркой на заданных диаметре стержня и токе сварки устанавливают зависимость длины расплавленной части электрода от времени горения дуги, по ней определяют зависимость изменения скорости расплавления электрода во времени, в процессе сварки электрод и изделие сближают автоматически, в соответствии с установленной зависимостью скорости расплавления электрода от времени, электрод или изделие перемещают вдоль линии сварки автоматически, причем зависимость скорости перемещения электрода или изделия вдоль линии сварки во времени устанавливают, исходя из полученной зависимости скорости расплавления электрода во времени и требуемой зависимости площади поперечного сечения наплавляемого валика по его длине.

По одному из вариантов выполнения способа скорость автоматического перемещения электрода или изделия вдоль линии сварки устанавливают постоянной для обеспечения линейной зависимости увеличения сечения валика по его длине.

По другому варианту выполнения способа скорость автоматического перемещения электрода или изделия вдоль линии сварки увеличивают пропорционально времени сварки, обеспечивая постоянство сечения наплавляемого валика по его длине.

Техническая сущность предлагаемого способа дуговой сварки штучным покрытым электродом заключается в том, что для автоматизации сближения конца электрода с изделием и сварочной ванной, перемещения вдоль оси наплавляемого валика следует использовать зависимость скорости расплавления электрода во времени, которая не изменяется для электродов данной марки, диаметра при установленной силе тока и полярности дуги.

Экспериментально установлено, что скорость плавления покрытого электрода, из-за нагрева его в вылете растет линейно в процессе его расплавления (см. раздел 2.1).

Наличие такой зависимости, устанавливаемой опытным путем с высокой точностью, позволяет автоматизировать подачу электрода в сварочную ванну и перемещение электрода в направлении сварки.

На рис.4.9 показаны расчетные зависимости длины расплавленной части электрода от времени горения дуги. Зависимости имеют нелинейный вид, когда увеличение длины расплавленной части электрода ускоряется со временем. Они получены путем последовательного расплавления частей длины электрода при фиксировании времени расплавления и длины расплавившейся части покрытия. Кривая 1 показывает изменение длины расплавленной части электрода LB-52U. Наплавка велась на постоянном токе обратной полярности. Диаметр электрода с покрытием составлял 6,4 мм, диаметр стержня 4,0 мм. Длина оголенной части составляла 30 мм. Ток дуги составлял 167 А, плотность тока $J = 1330 \text{ А/см}^2$. Кривые показывают расчетные значения, полученные путем аппроксимации опытных данных с помощью метода наименьших квадратов, реализованного в специальной компьютерной программе. Аппроксимирующая функция длины расплавленной части электрода L_p от времени t задавалась в форме параболической кривой вида 2.2.

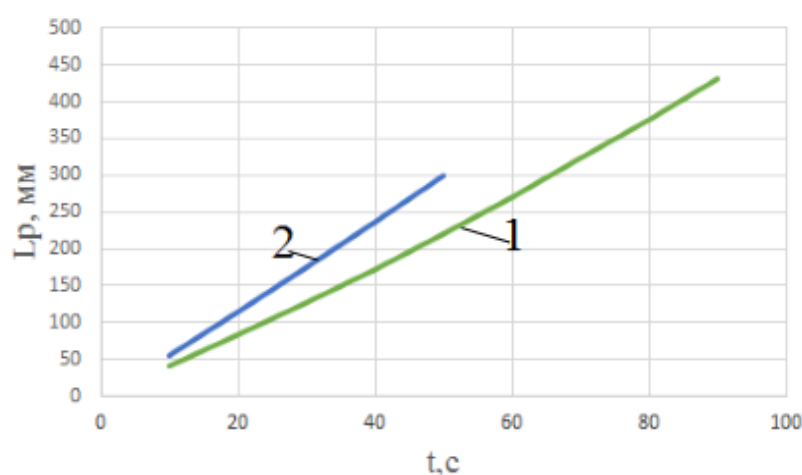


Рис.4.9. Зависимости длины расплавленной части покрытия от времени
При определении коэффициентов аппроксимации к экспериментальным точкам, полученным при снятии зависимости (2.2) добавляется еще одна точка для начального момента времени, поскольку известно, что при $t=0$ длина расплавленной части равна $L_p = 0$. Средняя сходимость аналитических и опытных

значений 1,5 % по абсолютной величине при выполнении наплавки вручную квалифицированным сварщиком. При механизированной подаче электрода в сварочную ванну сходимость аппроксимированных и опытных данных значительно выше. Точность определения аппроксимирующих коэффициентов повышается при увеличении числа расплавляемых отрезков электрода. Опыты показали, что для обеспечения высокой точности определения коэффициентов (1,5%) достаточно расплавления 1/3, 2/3, и целого электрода при повторении каждого опыта 2 раза. При этом не обязательно точное соответствие длины расплавленной части в каждом опыте, так как фиксируется время его расплавления. При использовании компьютерной программы попарно вводятся все значения времени расплавления и длины расплавленного участка. Значения коэффициентов уравнения (2.2) для кривой 1 на рис.4.8: $L_0=0,017 \text{ см}=0,17 \text{ мм}$. $V_1 = 0,396 \text{ см/с}$; $V_2= 9,22 \cdot 10^{-4} \text{ см/с}^2$.

В среднем, в данном случае, расчетные данные по длине расплавившейся части электрода совпадают по абсолютной величине с опытными значениями с точностью 1,3%.

На кривой 2 рис. 4.9 показана расчетная зависимость длины расплавленной части электрода от времени для импортных электродов марки LB – 52U. Наплавка велась на постоянном токе обратной полярности на токе дуги 95 А. Плотность тока $J = 1789 \text{ А/см}^2$. Диаметр электрода с покрытием составлял 3,05 мм, диаметр стержня 2,6 мм. Длина оголенной части составляла 25 мм. Значения коэффициентов аппроксимации для кривой 2 получены следующие: $L_0 = 0,089 \text{ см} = 0,89 \text{ мм}$, $V_1=0,543 \text{ см/с}$, $V_2= 1,11 \cdot 10^{-3} \text{ см/с}^2$. Среднее отклонение расчетных значений от опытных по абсолютной величине не превышает 1,6%, алгебраическое значительно меньше.

На рис. 4.10 показаны зависимости скорости расплавления электрода во времени, полученные путем дифференцирования кривых 1 и 2 на рис.4.9.

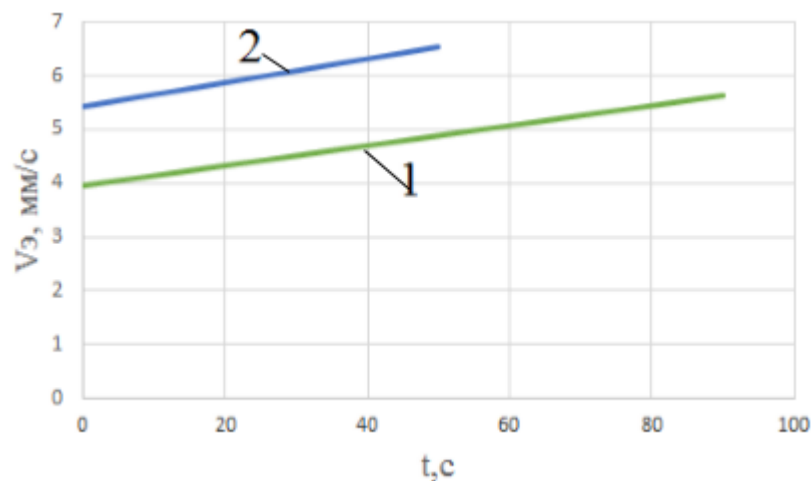


Рис. 4.10. Зависимости скорости расплавления электрода от времени

Согласно уравнению (2.2) скорость расплавления будет увеличиваться линейно

$$V_э = D \frac{dI_p}{dt} = V_1 + 2B_2 t. \quad (4.6)$$

Получается, что коэффициент V_1 численно представляет начальную скорость расплавления электрода. Коэффициент $2B_2$ определяет линейный рост скорости во времени. Коэффициент $2B_2$ в формуле (4.6) равен коэффициенту B в формуле (2.2).

Прямая 1 на рис. 4.10 представляет расчетную зависимость скорости расплавления электрода от времени для тока диаметра электрода 4 мм, прямая 2 для диаметра 2,6 мм.

На рис. 4.11 показаны зависимости поперечного сечения наплавленного металла по длине валика при постоянной скорости V_c перемещения электрода в направлении сварки.

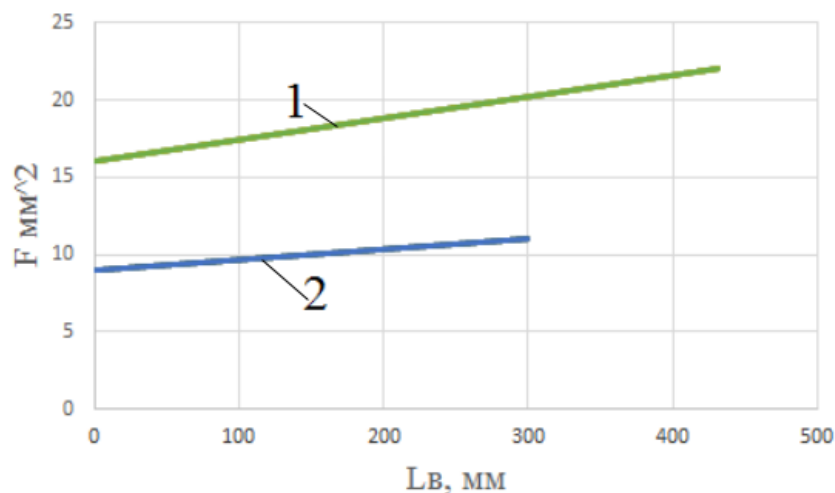


Рис. 4.11. Зависимости сечения валика от его длины

Поперечное сечение валика F определяется по формуле, полученной с помощью закона сохранения массы электродного металла

$$F = V_э \cdot S(1 - \psi_п) / V_c, \quad (4.7)$$

где S – площадь поперечного сечения металлического стержня электрода, $\psi_п$ – коэффициент потерь на угар и разбрызгивание. Поскольку скорость плавления электрода увеличивается во времени линейно, то линейно будет увеличиваться и площадь сечения наплавленного металла.

Площадь поперечного сечения электрода S определяется по формуле

$$S = \pi D_э^2 / 4,$$

где $D_э$ – диаметр стержня электрода.

Прямая 1 на рис. 4.11 показывает изменение сечения валика по длине шва для диаметра электрода 4 мм, прямая 2 для диаметра электрода 2,6 мм.

Сечение валика для диаметра 4 мм при постоянстве скорости перемещения электрода в направлении сварки $V_c = 0,3$ см/с увеличилось с 16 мм^2 в начале валика до 22 мм^2 в конце валика.

Сечение валика для диаметра 2,6 мм при постоянстве скорости перемещения электрода в направлении сварки $V_c = 0,3$ см/с увеличилось с 9 мм^2 в начале валика до 11 мм^2 в конце валика.

На рис. 4.12 показаны зависимости скорости сварки V_c от времени горения дуги для сохранения постоянной площади поперечного сечения валика.

Зависимость можно определить по формуле

$$V_c(t) = V_э(t) S (1 - \psi_п) / F. \quad (4.8)$$

Поскольку скорость расплавления электрода растет линейно, то требуемая скорость перемещения электрода в направлении сварки будет увеличиваться в соответствии с формулой 5 также линейно. Кривая 1 на рис. 4.12 показывает зависимость скорости сварки для электрода диаметром 4,0 мм, кривая 2 – для электрода диаметром 2,6 мм.

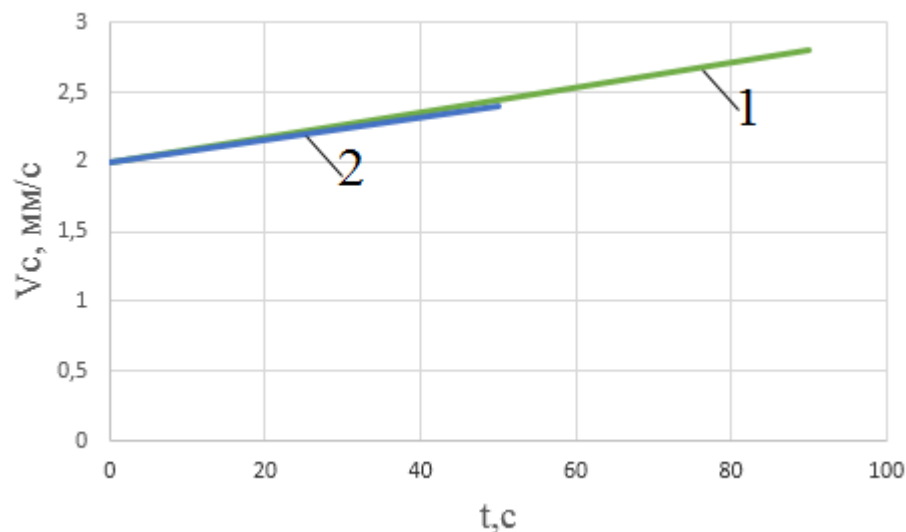


Рис.4.12. Зависимость изменения скорости сварки для сохранения сечения валика

Начальная скорость сварки для кривой 1 $V_c = 2$ мм/с. Площадь сечения наплавленного валика в начальный момент расплавления электрода $F = 24$ мм², в момент окончания расплавления электрода скорость сварки, чтобы сохранить постоянной площадь сечения валика составляет 2,8 мм/с.

Начальная скорость сварки для кривой 2 $V_c = 2$ мм/с. Площадь сечения наплавленного валика в начальный момент расплавления электрода $F = 14$ мм², в момент окончания расплавления электрода скорость сварки, чтобы сохранить постоянной площадь сечения валика составляет 2,4 мм/с.

На фиг. 4.13 показана схема устройства для реализации способа. Устройство содержит электрододержатель 1, с закрепленным в нем стержнем электрода 2. Электрододержатель закрепляется на каретке 3. Каретка 3 имеет возможность перемещения по направляющей 4 в направлении, перпендикулярном направлению сварки. Направляющая 4 соединена с направляющей 5, обеспечивающей перемещение электрода 2 в направлении скорости сварки. На каретке 3 расположен механизм подачи электрода в сварочную ванну 6, приводимый в движение электродвигателем 7 с цифровым устройством для программирования скорости вращения.

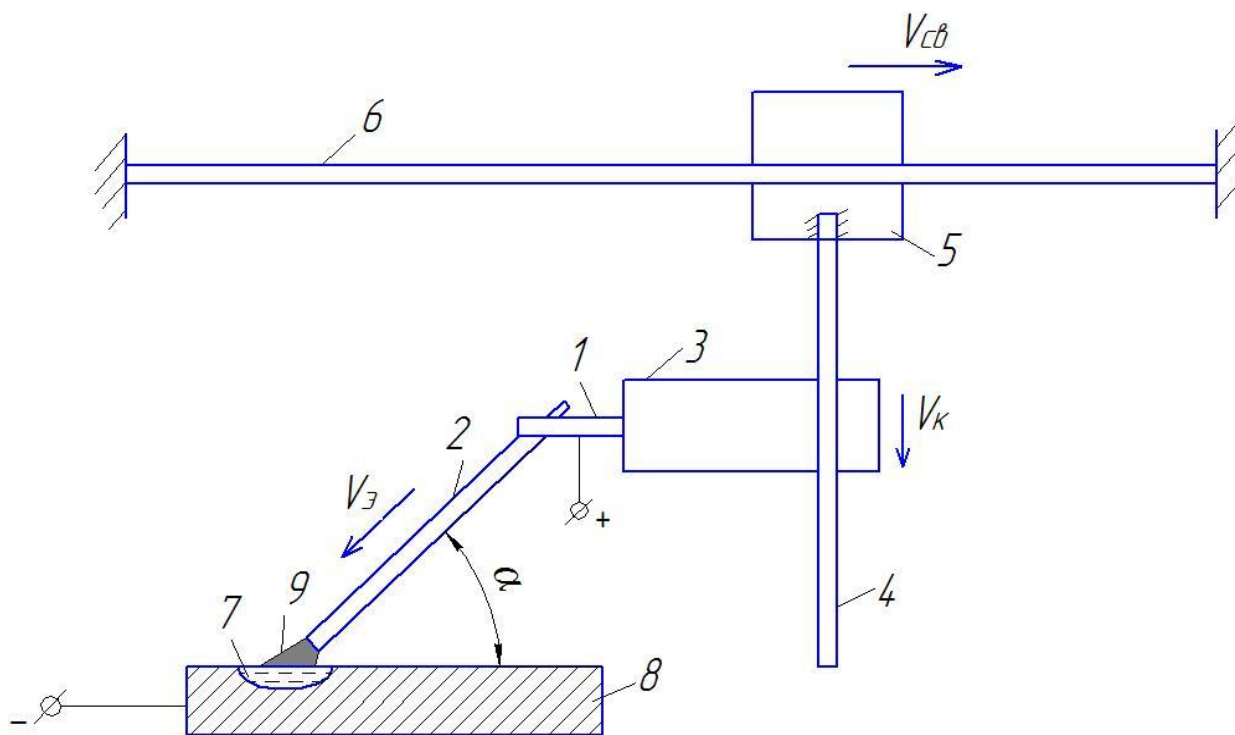


Рис. 4.13.Схема реализация способа автоматической сварки

Пример 1.

Выполняли наплавку на пластину по предлагаемому способу электродами марки LB-52U диаметром 4 мм. Сварка велась на обратной полярности дуги. Предварительно была установлена зависимость длины расплавленной части электрода от времени, затем по ней зависимость скорости расплавления электрода от времени для длины покрытой части 42,0 см на токе 190 А, рекомендуемом как близкий к максимальному для данной марки электрода. Максимальная скорость составила $V_k=0,62$ см/с. Начальная скорость расплавления электрода составляла $V_0=0,44$ см/с. Время расплавления покрытия на длине 42,0 см составило $t_k=79$ секунд. Средняя скорость расплавления электрода $V_{cp}=0,53$ см/с. После этого с помощью двухкоординатного механизма подачи, на котором закреплялся электрододержатель с таким же электродом, осуществляли наплавку. Механизм подачи содержал электродвигатели, позволяющие программировать и корректировать начальную скорость перемещения электрода и линейную зависимость ее увеличения во времени. Скорость подачи электрода в сварочную ванну была запрограммирована в

соответствии с ее зависимостью от времени. Скорость перемещения электрода в направлении сварки была установлена постоянной и составляла $V_c=0,3$ см/с. Дугу зажигали с помощью замыкания промежутка электрод –деталь с помощью графитового стержня. После зажигания дуги автоматически включались механизмы подачи электрода в сварочную ванну и перемещения в направлении сварки. В результате расплавления электрода получили валик наплавленного металла длиной 23,7 см. Ширина валика изменялась от 13 мм в начале до 18 мм в конце валика. Поверхность валика ровная гладкая, с мелкой чешуйчатостью шва.

Пример 2. На тех же режимах, что и в примере 1 выполняли наплавку по предлагаемому способу при программировании скорости перемещения электрода в направлении сварки в соответствии с условием постоянства сечения валика. Скорость перемещения увеличивалась линейно. В результате расплавления электрода получили валик наплавленного металла длиной 32,8 см. Ширина валика 13 мм не изменялась. Поверхность валика ровная гладкая, с мелкой чешуйчатостью шва.

Пример 3. На тех же режимах, что и в примере 1 выполняли сварку корневого шва образцов из труб диаметром 159x10 мм длиной по 150 мм с V-образной разделкой кромок с углом разделки кромок 55 градусов. Притупление кромок $s = 2$ мм, зазор $b=2$ мм. Сварка осуществлялась путем вращения трубы с постоянной угловой скоростью. Линейная скорость перемещения на уровне корневого слоя шва составляла 0,4 см/с. Электрод располагался перпендикулярно продольной оси трубы в верхней точке окружности с погружением в разделку кромок. Установочная длина дуги составляла 3 мм. Сближение электрододержателя с установленным в нем электродом осуществлялось автоматической подачей электрододержателя к изделию в соответствии с установленной ранее зависимостью скорости расплавления электрода во времени. В результате расплавления электрода получили валик наплавленного металла длиной 31,6 см. Ширина валика с 10 мм в начале увеличилась до 14 мм в конце. Наружная поверхность валика ровная гладкая, с мелкой чешуйчатостью шва. Обратный

валик корневого шва шириной 6 мм ровный с выпуклостью 1 мм, к концу шва его ширина увеличилась до 7 мм.

Способ позволяет автоматизировать процесс сварки штучными покрытыми электродами при повышении надежности процесса и использовать для сварки электроды любых марок при значительном повышении качества шва и стабильности качества. Сварка узкими валиками может вестись в пространственных положениях, отличных от нижнего положения. Способ дает возможность автоматизировать сближение электрододержателя и изделия, как за счет автоматизации перемещения электрододержателя, так и изделия. Способ обеспечивает регулирование сечения валика по его длине в зависимости от требований процесса.

Способ может быть осуществлен с помощью известных устройств: любых сварочных источников питания для ручной дуговой сварки, стандартных электродов любых марок и диаметров во всех рекомендуемых для них диапазонах сварочного тока, электроприводов с программированием скорости вращения механизмов перемещения электрододержателя или изделия.

Способ перспективен для аттестации сварщиков, т.к. позволяет определить разницу в качестве выполнения сварки ручным и автоматическим способом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Плотности покрытий импортных электродов одной марки могут иметь значительный разброс в зависимости от отношения D/d_3 . Плотность электрода в целом, приведенная к объему стержня, при этом практически постоянна.

Линейный характер роста скорости расплавления электрода по времени подтвержден для ряда марок импортных и отечественных электродов не только для дуги обратной полярности, но и для дуги прямой полярности, а также для голого стержня электрода.

Разработанная методика опытов с расплавлением электродов дугой косвенного действия позволяет достоверно и просто определять соотношение скоростей расплавления электродов в зависимости от полярности дуги.

Производительность расплавления электродов на прямой полярности дуги на 10-15% ниже производительности на обратной полярности для большинства марок электродов.

Коэффициент пропорциональности линейной зависимости скорости расплавления покрытого электрода от времени горения дуги возрастает примерно в третьей степени от тока дуги и зависит от свойств покрытия.

Неравномерность скорости расплавления покрытых электродов на минимальном токе рекомендуемого диапазона минимальна. Поэтому для снижения химической неоднородности корневых слоев швов соединений с разделкой кромок их целесообразно сваривать на минимальном токе рекомендуемого диапазона.

Максимальная скорость расплавления, достигаемая на максимальном рекомендуемом токе, может служить критерием для назначения повышенных токов при использовании для сварки неполной длины электрода.

На основе выполненных исследований предложено два новых способа сварки покрытыми электродами и новая конструкция покрытого электрода.

Данные решения позволяют существенно повысить производительность труда.

Цель работы достигнута, задачи решены. Необходимо продолжать исследования в других магистерских диссертациях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ ПЕРЕЧЕНЬ

1. Смирнов, И. В. Реализация национальной системы аттестации сварщиков и специалистов сварочного производства в Средневолжском регионе [Текст] / И.В. Смирнов, В.П. Сидоров, В.А. Печенкина // В сб. Сварка XXI век – «Теория и методика, повышение качества профессионального образования и аттестация специалистов сварочного производства». Труды Всероссийской конференции. Тольятти: ТГУ. 2002 – С.94-98.
2. Лесков, Г.И. Электрическая сварочная дуга [Текст] /Лесков Г.И. – М.: Машиностроение, 1977. – 335 с.
3. Казакова, Ю.В. Сварка и резка материалов [Текст]/ Учебное пособие под ред. Проф. Ю.В. Казакова. М.: Академия.- 2009.- 480 с.
4. ГОСТ 9466-75, Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки и наплавки. Классификация и общие технические условия. [Текст]/ ГОСТ 9466-75.Росстандарт. М.: 1992.
5. РД 03-613-03, Порядок применения сварочных материалов при изготовлении, монтаже, ремонте и реконструкции технических устройств опасных производственных объектов. [Текст]/ РД 03-613-03. М.: ПИО ОБТ, 2003.
6. Ерохин, А.А. Основы сварки плавлением. [Текст]/ А.А. Ерохин - М.: Машиностроение, 1973, 448 с.
7. Милютин, В.С. Источники питания для сварки [Текст] / В.С. Милютин, М.П. Шалимов, С.М. Шанчуров // М.: Айрис – пресс.- 2007. 376 с.
8. Стеклов, О.И. Основы сварочного производства [Текст]/ О.И. Стеклов - М.: Высшая школа, 1981.
9. ГОСТ 9467-75, Электроды покрытые для ручной сварки конструкционных и теплоустойчивых сталей. Типы. [Текст] / ГОСТ 9467-75. М.: ИПК Издательство стандартов. 2005.- 6 с.

10. ГОСТ 10051-75, Электроды покрытые металлические для ручной дуговой наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами. Типы. [Текст] / ГОСТ 10051-75- М.: Издательство стандартов. 1993.- 12 с.
11. ГОСТ 10052-75, Электроды покрытые металлические для ручной дуговой наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами. Типы. [Текст] / ГОСТ 10052-75- М.: Издательство стандартов. 1993.- 12 с.
12. Антикайн, П. А. Изготовление объектов котлонадзора [Текст]/ Справ. изд. П. А. Антикайн, А. К. Зыков. М., Металлургия, 1980. 327 с
13. Акулов А. И. Технология и оборудование сварки плавлением. Учебник для студентов вузов [Текст]/ Акулов А. И., Бельчук Г.А. и Демянцевич В.П. М., Машиностроение, 1977. 432 с.с ил.
14. Ворновицкий, И.Н. Электроды для сварки оборудования тепловых электростанций [Текст] / И.Н. Ворновицкий. - М. : Энергоатомиздат, 1983. - 96 с.
15. Сидоров, В.П. Теория и технология сварочных процессов: сборник задач для студентов специальности 150202 «Оборудование и технология сварочного производства» [Текст]/ Сидоров В.П. - Тольятти: Изд-во ТГУ, 2009.Изд. 2-е исправл..- 228 с.
16. Сидоров, В.П. Влияние рода и полярности тока на плавление электродного и основного металла при сварке под флюсом [Текст]/ В.П. Сидоров // Сварка и диагностика. 2013.- № 3. С. 20-23.
17. Сидоров, В.П. Вклад в проплавление изделия мощности электродного металла при сварке под флюсом. [Текст] / В.П. Сидоров, Н.А. Борисов // Пайка -2013: сборник материалов международной научно-технической конференции (Тольятти, 10-12 сентября 2013 года) / редкол.: А.Ю. Краснопевцев (отв. ред.) [и др.]- Тольятти : Изд-во ТГУ, 2013 359 с. С. 232-239.
18. Сидоров, В.П. Оценка возможности регулирования рода и полярности тока, доли основного металла в шве при сварке под флюсом [Текст] / В. П.

- Сидоров, М. В. Асташин, Н. А. Борисов // Сварочное производство. 2013. № 5. С. 16-18.
19. Ленивкин, В. А. Технологические свойства сварочной дуги в защитных газах [Текст]/ В. А. Ленивкин, Н. Г. Дюргеров, Х. Н. Сагиров. — М.: Машиностроение, 1989. — 264 с.
20. Способ дуговой сварки штучным покрытым электродом [Текст] / В.П. Сидоров, Р.Б. Кутулбаев // Патент РФ на изобретение № 2571668 от 25.02.2014.
21. Сидоров, В.П. Исследование неравномерности скорости расплавления штучного электрода с покрытием [Текст] / В.П. Сидоров, Р.Б. Кутулбаев // Сварка и диагностика. 2019.№ 6. С.11-13.
22. Сидоров, В.П. Исследование скорости расплавления покрытых электродов [Текст]/ В. П. Сидоров, В. А. Федякин, Р. Б. Кутулбаев // Сварочное производство. 2016. №1. С. 35
23. Способ определения скорости расплавления покрытого электрода /В.П. Сидоров, В.А. Федякин // Патент РФ на изобретение № 2582170 от 19.11.2014.
24. Сидоров, В.П. О понятии гибкости технологического процесса сварки (тезисы доклада) [Текст] / В.П. Сидоров // Материалы конференции сварщиков Урала. Челябинск. 2000 г.-С.106-108.
25. Сидоров, В.П. О гибкости технологического процесса сварки [Текст]/ В.П. Сидоров // Сварка XXI век – «Теория и методика, повышение качества профессионального образования и аттестация специалистов сварочного производства». Труды Всероссийской конференции. Тольятти: ТГУ. 2002 – С. 110-114.
26. Федосов, С.А. К вопросу о влиянии полярности на глубину проплавления и скорость сварки [Текст]/ С.А. Федосов // Современные проблемы повышения эффективности сварочного производства: сб. материалов Всеросс. заочной научн.-техн. конф. (Тольятти, 25-28 октября

- 2011 года / Под ред. В.П. Сидорова [и др.]. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2011. С. 97-99.
27. Лозовой, В. Г. К вопросу о сварке на прямой полярности [Текст] / В. Г. Лозовой [и др.] // Сварка и Диагностика. 2014. № 6. С. 55-59
28. Сидоров, В.П. Методика определения сопротивления вылета сварочного электрода / В.П. Сидоров, И. В. Новский, М.А. Абрамова // Современные проблемы сварочного производства: сборник научных трудов XXVI научн.-техн. конф. сварщиков Урала .- г. Челябинск, (17-20 апреля 2016 г.) Издательский центр ЮУрГУ.- С 14-18.
29. Абрамова, М.А. Влияние полярности при сварке в среде CO₂ на проплавливающую способность дуги [Текст] / М.А. Абрамова // Магистерская диссертация. Тольятти, ТГУ.- 2016.- 80 с.
30. Ворновицкий, И.Н. Некоторые аспекты повышения качества электродов [Текст] / И.Н. Ворновицкий, А.Б. Геллер, Ю.Д. Дарахвелидзе // Сварка и диагностика. 2009. № 2. С. 29-31.
31. Руководство по эксплуатации инверторного аппарата (TIG) IG160 AC/DC | TIG200 AC/DC | TIG250 AC/DC | TIG315 AC/DC TIG200P AC/DC | TIG250P AC/DC | TIG315P AC/DC. Фирма «Инсварком». С-Петербург, 2011, 14 с.
32. Сидоров, В.П. Влияние полярности на скорость расплавления покрытых электродов [Текст] / В.П. Сидоров, С.В. Абрамова // Современные проблемы сварочного производства: сборник научных трудов XXVI научн.-техн. конф. сварщиков Урала .- г. Челябинск, (17-20 апреля 2016 г.) Издательский центр ЮУрГУ.- С 18-22.
33. Сидоров, В.П. Методика расчета скорости расплавления покрытого электрода [Текст] / В.П. Сидоров, С.В. Абрамова // Современные проблемы сварочного производства: сборник научных трудов XXVI научн.-техн. конф. сварщиков Урала .- г. Челябинск, (17-20 апреля 2016 г.) Издательский центр ЮУрГУ.- С 22-26.

34. Заявка на Способ дуговой сварки штучными покрытыми электродами № 2016100493 от 11.01.2016 г. (авторы Сидоров В.П., Абрамова С.В.)
35. Заявка на Штучный покрытый электрод для дуговой сварки № 2016100384 от 11.01.2016 г. (авторы Сидоров В.П., Абрамова С.В.)
36. Заявка на Способ автоматической сварки штучным покрытым электродом № 2016100977 от 11.01.2016 г. (авторы Сидоров В.П., Абрамова С.В.)
37. Электроды LB 52U (KOBЕ STEEL Япония) [Электронный ресурс] <http://elektrod-3g.ru/elektrodyi-lb52u.php>, свободный (Дата обращения 21.04.2016)
38. Сварочный электрод ESAB ОК 53.70 [Электронный ресурс] <http://weldexpert.ru/svarochnye-materialy/svarochnye-elektrody/elektrody-ok-53-70-detail.html>, свободный (Дата обращения 21.04.2016)
39. Характеристики сварочных электродов мр-3. [Электронный ресурс] <http://elektrod-3g.ru/harakteristiki-elektrodov-mr-3.php>, свободный (Дата обращения 21.04.2016)
40. МР-3С (синие). Сварочные электроды МР-3С - Э46. [Электронный ресурс] http://tehnolog-svarka.ru/mr3s_sinie,_mr3s2,_mr, свободный (Дата обращения 21.04.2016)
41. Корсун, Д.Е. Компьютерный расчет режимов автоматической сварки под слоем флюса [Текст] / Корсун Д.Е. Магистерская диссертация. Тольятти, ТГУ.- 2016.- 82 с.
42. Алексеев, Ю.Е. Оборудование для дуговой сварки под флюсом [Текст] / Ю.Е. Алексеев, Л.Н. Кушнарев // Л.: Энергия- 1977.- 128 с.
43. Дьяконов, В.П. Справочник по алгоритмам и программам на языке Бейсик для персональных ЭВМ[Текст] / В.П. Дьяконов. - М.: Наука, 1987. - 240 с.
44. Коберник, Н.В. Влияние рода и полярности тока на плавление электродного и основного металла при сварке под флюсом [Текст] / Н.В.

Коберник, Г.Г. Чернышов, П.П. Гвоздев и др. // Сварка и диагностика. 2011, № 5, С. 24-27.

45. Смирнов, В.В. Оборудование для дуговой сварки: Справочное пособие [Текст] / Под ред. В.В.Смирнова. Л.: Энергоатомиздат // Ленинградское отделение. - 1986.-656 с.

Приложения

Приложение А

Сводная таблица характеристик электродов

Марка электрод-ов	Описание	Параметры сварки	Габаритные размеры	Классификации и одобрения	Типичный химический состав наплавленного металла	Типичные механические свойства металла шва																																																								
ОК 53.70	Сварочные электроды ESAB ОК 53.70 с низким содержанием водорода для односторонней сварки трубопроводов и конструкций общего назначения. Преимущественно используются для сварки корневого слоя шва поворотных и неповоротных стыков трубопроводов и других ответственных конструкций из низкоуглеродистых, углеродистых и низколегированных сталей прочностных классов до К60 включительно. Электроды диаметром Ø2,5мм и Ø3,2мм предназначены также для сварки заполняющих и облицовочного слоёв шва тонкостенных конструкций, включая стыки трубопроводов из сталей прочностных классов до К54 включительно. Сварочные электроды 53.70, имеют сертификацию НАКС, одобрение Транснефть.	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;"><i>Тип материала</i></td> <td>Электрод сварочный</td> </tr> <tr> <td><i>Тип сварки</i></td> <td>ММА (SMAW) ручная дуговая сварка покрытым электродом</td> </tr> <tr> <td><i>Назначение</i></td> <td>углеродистые стали / низколегированные стали / сварка трубопроводов</td> </tr> <tr> <td><i>Род тока</i></td> <td>=+ постоянный ток обратной полярности (плюс на электроде) DC+ / -= постоянный ток прямой полярности (минус на электроде) DC- / ~ переменный ток AC</td> </tr> <tr> <td><i>Напряжение холостого хода U_{х.х.}, В</i></td> <td>60</td> </tr> <tr> <td><i>Режимы прокалки</i></td> <td>330-370°C, 2 часа</td> </tr> <tr> <td><i>Положение сварки</i></td> <td>1 - нижнее или в лодочку 2 - нижнее в угол 3 - горизонтальный шов на вертикальной плоскости 4 - вертикальный шов на подъём 6 - потолочный шов</td> </tr> </table>	<i>Тип материала</i>	Электрод сварочный	<i>Тип сварки</i>	ММА (SMAW) ручная дуговая сварка покрытым электродом	<i>Назначение</i>	углеродистые стали / низколегированные стали / сварка трубопроводов	<i>Род тока</i>	=+ постоянный ток обратной полярности (плюс на электроде) DC+ / -= постоянный ток прямой полярности (минус на электроде) DC- / ~ переменный ток AC	<i>Напряжение холостого хода U_{х.х.}, В</i>	60	<i>Режимы прокалки</i>	330-370°C, 2 часа	<i>Положение сварки</i>	1 - нижнее или в лодочку 2 - нижнее в угол 3 - горизонтальный шов на вертикальной плоскости 4 - вертикальный шов на подъём 6 - потолочный шов	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">Диаметр, мм</td> <td>2.5 3.2 4.0 5.0</td> </tr> <tr> <td>Длина, мм</td> <td>350 450</td> </tr> </table>	Диаметр, мм	2.5 3.2 4.0 5.0	Длина, мм	350 450	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td rowspan="7" style="width: 15%; text-align: center;">Подробно</td> <td>Одобрения: BS: 3YH5 NV: 3YH5 R: 3YH5 ОСТ 94466-75 ОСТ 9467-75</td> </tr> <tr> <td>SFA/AW E7016-1</td> </tr> <tr> <td>EN E 42 5 B 1 2 H5</td> </tr> <tr> <td>ISO E 42 5 B 1 2 H5</td> </tr> <tr> <td>DIN E5155B10</td> </tr> <tr> <td>Технические условия</td> <td>ТУ 1272-014-55224353-2005 ТУ 1272-134-53304720-2007, ТУ 1272-134-53304720-2009</td> </tr> <tr> <td>Аналог</td> <td>LB-52U, ОК 48.15, АНО-1М У-5, ЦУ-4</td> </tr> </table>	Подробно	Одобрения: BS: 3YH5 NV: 3YH5 R: 3YH5 ОСТ 94466-75 ОСТ 9467-75	SFA/AW E7016-1	EN E 42 5 B 1 2 H5	ISO E 42 5 B 1 2 H5	DIN E5155B10	Технические условия	ТУ 1272-014-55224353-2005 ТУ 1272-134-53304720-2007, ТУ 1272-134-53304720-2009	Аналог	LB-52U, ОК 48.15, АНО-1М У-5, ЦУ-4	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">Тип наплавленного металла</td> <td>Э50А</td> </tr> <tr> <td>Тип покрытия</td> <td>основное</td> </tr> <tr> <td>С Углерод, %</td> <td>0.06</td> </tr> <tr> <td>Мп — Марганец (Г), %</td> <td>1.2</td> </tr> <tr> <td>Р — Фосфор (П), %</td> <td>0.015</td> </tr> <tr> <td>S — Сера, %</td> <td>0.015</td> </tr> <tr> <td>Si — Кремний (С), %</td> <td>0.5</td> </tr> </table>	Тип наплавленного металла	Э50А	Тип покрытия	основное	С Углерод, %	0.06	Мп — Марганец (Г), %	1.2	Р — Фосфор (П), %	0.015	S — Сера, %	0.015	Si — Кремний (С), %	0.5	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">Коэффициент перехода, %</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>Предел текучести, Мпа</td> <td>440</td> </tr> <tr> <td>Предел прочности, Мпа</td> <td>530</td> </tr> <tr> <td>Удлинение, %</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>KV - 20°C, Дж min</td> <td>150</td> </tr> <tr> <td>KV - 40°C, Дж min</td> <td>120</td> </tr> <tr> <td>KV - 50°C, Дж min</td> <td>100</td> </tr> </table>	Коэффициент перехода, %	100	Предел текучести, Мпа	440	Предел прочности, Мпа	530	Удлинение, %	30	KV - 20°C, Дж min	150	KV - 40°C, Дж min	120	KV - 50°C, Дж min	100
		<i>Тип материала</i>	Электрод сварочный																																																											
		<i>Тип сварки</i>	ММА (SMAW) ручная дуговая сварка покрытым электродом																																																											
		<i>Назначение</i>	углеродистые стали / низколегированные стали / сварка трубопроводов																																																											
		<i>Род тока</i>	=+ постоянный ток обратной полярности (плюс на электроде) DC+ / -= постоянный ток прямой полярности (минус на электроде) DC- / ~ переменный ток AC																																																											
		<i>Напряжение холостого хода U_{х.х.}, В</i>	60																																																											
		<i>Режимы прокалки</i>	330-370°C, 2 часа																																																											
		<i>Положение сварки</i>	1 - нижнее или в лодочку 2 - нижнее в угол 3 - горизонтальный шов на вертикальной плоскости 4 - вертикальный шов на подъём 6 - потолочный шов																																																											
Диаметр, мм	2.5 3.2 4.0 5.0																																																													
Длина, мм	350 450																																																													
Подробно	Одобрения: BS: 3YH5 NV: 3YH5 R: 3YH5 ОСТ 94466-75 ОСТ 9467-75																																																													
	SFA/AW E7016-1																																																													
	EN E 42 5 B 1 2 H5																																																													
	ISO E 42 5 B 1 2 H5																																																													
	DIN E5155B10																																																													
	Технические условия	ТУ 1272-014-55224353-2005 ТУ 1272-134-53304720-2007, ТУ 1272-134-53304720-2009																																																												
	Аналог	LB-52U, ОК 48.15, АНО-1М У-5, ЦУ-4																																																												
Тип наплавленного металла	Э50А																																																													
Тип покрытия	основное																																																													
С Углерод, %	0.06																																																													
Мп — Марганец (Г), %	1.2																																																													
Р — Фосфор (П), %	0.015																																																													
S — Сера, %	0.015																																																													
Si — Кремний (С), %	0.5																																																													
Коэффициент перехода, %	100																																																													
Предел текучести, Мпа	440																																																													
Предел прочности, Мпа	530																																																													
Удлинение, %	30																																																													
KV - 20°C, Дж min	150																																																													
KV - 40°C, Дж min	120																																																													
KV - 50°C, Дж min	100																																																													

ОК 74.70	<p>Электроды ОК 74.70 предназначены преимущественно для сварки заполняющих и облицовочного слоёв неповоротных стыков трубопроводов в положении вертикаль на подъём из низкоуглеродистых, низколегированных сталей класса прочности K55-K60, API 5L X60-X70, а также других ответственных конструкций нормативным пределом текучести до 500 МПа включительно. Электроды ОК 74.70 занесены в реестр Транснефти.</p>	<table border="1"> <tr> <td>Тип материала</td> <td>Электрод сварочный</td> </tr> <tr> <td>Тип сварки</td> <td>MMA (SMAW) ручная дуговая сварка покрытым электродом</td> </tr> <tr> <td>Назначение</td> <td>углеродистые стали / низколегированные стали / высокопрочные стали / теплоустойчивые стали / легированные стали / сварка трубопроводов</td> </tr> <tr> <td>Род тока</td> <td>=+ постоянный ток обратной полярности (плюс на электроде) DC+ / =- постоянный ток прямой полярности (минус на электроде) DC-</td> </tr> <tr> <td>Режимы прокалики</td> <td>330-370°C, 2 часа</td> </tr> <tr> <td>Положение сварки</td> <td>1 - нижнее или в лодочку 2 - нижнее в угол 3 - горизонтальный шов на вертикальной плоскости 4 - вертикальный шов на подъём 6 - потолочный шов</td> </tr> </table>	Тип материала	Электрод сварочный	Тип сварки	MMA (SMAW) ручная дуговая сварка покрытым электродом	Назначение	углеродистые стали / низколегированные стали / высокопрочные стали / теплоустойчивые стали / легированные стали / сварка трубопроводов	Род тока	=+ постоянный ток обратной полярности (плюс на электроде) DC+ / =- постоянный ток прямой полярности (минус на электроде) DC-	Режимы прокалики	330-370°C, 2 часа	Положение сварки	1 - нижнее или в лодочку 2 - нижнее в угол 3 - горизонтальный шов на вертикальной плоскости 4 - вертикальный шов на подъём 6 - потолочный шов	<table border="1"> <tr> <td>Диаметр, мм</td> <td>3.2 4.0</td> </tr> <tr> <td>Длина, мм</td> <td>350 450</td> </tr> </table>	Диаметр, мм	3.2 4.0	Длина, мм	350 450	<table border="1"> <tr> <td rowspan="6">Подробное</td> <td>Одобрения: Sepros UNA 485155 ГОСТ Р ИСО 2560-A: E 50 4 Z B 4 2 H5 ГОСТ 9467-75</td> </tr> <tr> <td>SFA/AWS</td> <td>E8018-G</td> </tr> <tr> <td>EN</td> <td>E 50 4 MnMo B 42 H5 / E 50 4 Z B 4 2 H5 / EN ISO 2560-A</td> </tr> <tr> <td>ISO</td> <td>E 50 4 Z B 4 2 H5 / EN ISO 2560-A</td> </tr> <tr> <td>Технические условия</td> <td>ТУ 1272-015-55224353-2005</td> </tr> <tr> <td>Аналог</td> <td>ОК 74.46, ОК 55.00, УОНИИ-13/65, АНО-ТМ60, ОЗС-24М, ВСФ 65У</td> </tr> </table>	Подробное	Одобрения: Sepros UNA 485155 ГОСТ Р ИСО 2560-A: E 50 4 Z B 4 2 H5 ГОСТ 9467-75	SFA/AWS	E8018-G	EN	E 50 4 MnMo B 42 H5 / E 50 4 Z B 4 2 H5 / EN ISO 2560-A	ISO	E 50 4 Z B 4 2 H5 / EN ISO 2560-A	Технические условия	ТУ 1272-015-55224353-2005	Аналог	ОК 74.46, ОК 55.00, УОНИИ-13/65, АНО-ТМ60, ОЗС-24М, ВСФ 65У	<table border="1"> <tr> <td>Тип наплавленного металла</td> <td>Э55А</td> </tr> <tr> <td>Тип покрытия</td> <td>основное</td> </tr> <tr> <td>С — Углерод, %</td> <td>0.06 / 0.10</td> </tr> <tr> <td>Мn — Марганец (Г), %</td> <td>1.25 / 1.60</td> </tr> <tr> <td>Мо — Молибден (М), %</td> <td>0.35 / 0.50</td> </tr> <tr> <td>Ni — Никель (Н), %</td> <td>0 / 0.29</td> </tr> <tr> <td>Р — Фосфор (П), %</td> <td>0.015</td> </tr> </table>	Тип наплавленного металла	Э55А	Тип покрытия	основное	С — Углерод, %	0.06 / 0.10	Мn — Марганец (Г), %	1.25 / 1.60	Мо — Молибден (М), %	0.35 / 0.50	Ni — Никель (Н), %	0 / 0.29	Р — Фосфор (П), %	0.015	<table border="1"> <tr> <td>Коэффициент перехода, %</td> <td>115</td> </tr> <tr> <td>Предел текучести, МПа</td> <td>505</td> </tr> <tr> <td>Предел прочности, МПа</td> <td>560 / 720</td> </tr> <tr> <td>Удлинение, %</td> <td>19</td> </tr> <tr> <td>KV +20°C, Дж min</td> <td>110</td> </tr> <tr> <td>KV - 40°C, Дж min</td> <td>80</td> </tr> <tr> <td>KV - 50°C, Дж min</td> <td>50</td> </tr> </table>	Коэффициент перехода, %	115	Предел текучести, МПа	505	Предел прочности, МПа	560 / 720	Удлинение, %	19	KV +20°C, Дж min	110	KV - 40°C, Дж min	80	KV - 50°C, Дж min	50
		Тип материала	Электрод сварочный																																																											
		Тип сварки	MMA (SMAW) ручная дуговая сварка покрытым электродом																																																											
		Назначение	углеродистые стали / низколегированные стали / высокопрочные стали / теплоустойчивые стали / легированные стали / сварка трубопроводов																																																											
		Род тока	=+ постоянный ток обратной полярности (плюс на электроде) DC+ / =- постоянный ток прямой полярности (минус на электроде) DC-																																																											
		Режимы прокалики	330-370°C, 2 часа																																																											
		Положение сварки	1 - нижнее или в лодочку 2 - нижнее в угол 3 - горизонтальный шов на вертикальной плоскости 4 - вертикальный шов на подъём 6 - потолочный шов																																																											
Диаметр, мм	3.2 4.0																																																													
Длина, мм	350 450																																																													
Подробное	Одобрения: Sepros UNA 485155 ГОСТ Р ИСО 2560-A: E 50 4 Z B 4 2 H5 ГОСТ 9467-75																																																													
	SFA/AWS	E8018-G																																																												
	EN	E 50 4 MnMo B 42 H5 / E 50 4 Z B 4 2 H5 / EN ISO 2560-A																																																												
	ISO	E 50 4 Z B 4 2 H5 / EN ISO 2560-A																																																												
	Технические условия	ТУ 1272-015-55224353-2005																																																												
	Аналог	ОК 74.46, ОК 55.00, УОНИИ-13/65, АНО-ТМ60, ОЗС-24М, ВСФ 65У																																																												
Тип наплавленного металла	Э55А																																																													
Тип покрытия	основное																																																													
С — Углерод, %	0.06 / 0.10																																																													
Мn — Марганец (Г), %	1.25 / 1.60																																																													
Мо — Молибден (М), %	0.35 / 0.50																																																													
Ni — Никель (Н), %	0 / 0.29																																																													
Р — Фосфор (П), %	0.015																																																													
Коэффициент перехода, %	115																																																													
Предел текучести, МПа	505																																																													
Предел прочности, МПа	560 / 720																																																													
Удлинение, %	19																																																													
KV +20°C, Дж min	110																																																													
KV - 40°C, Дж min	80																																																													
KV - 50°C, Дж min	50																																																													

MP-3	MP-3, предназначенные для сварки ответственных конструкций из низкоуглеродистых и низколегированных сталей с временным сопротивлением до 490 МПа во всех пространственных положениях, кроме вертикали на спуск на постоянном токе любой полярности и переменном токе.	<table border="1"> <tr> <td>Тип материала</td> <td>Электрод сварочный</td> </tr> <tr> <td>Тип сварки</td> <td>ММА (SMAW) ручная дуговая сварка покрытым электродом</td> </tr> <tr> <td>Назначение</td> <td>углеродистые стали / низколегированные стали</td> </tr> <tr> <td>Род тока</td> <td>=+ постоянный ток обратной полярности (плюс на электроде) DC+ / =- постоянный ток прямой полярности (минус на электроде) DC- / ~ переменный ток AC</td> </tr> <tr> <td>Напряжение холостого хода Ух.х., В</td> <td>65</td> </tr> <tr> <td>Режимы прокали и</td> <td>150-180°C, 60 мин</td> </tr> </table>	Тип материала	Электрод сварочный	Тип сварки	ММА (SMAW) ручная дуговая сварка покрытым электродом	Назначение	углеродистые стали / низколегированные стали	Род тока	=+ постоянный ток обратной полярности (плюс на электроде) DC+ / =- постоянный ток прямой полярности (минус на электроде) DC- / ~ переменный ток AC	Напряжение холостого хода Ух.х., В	65	Режимы прокали и	150-180°C, 60 мин	<table border="1"> <tr> <td>Диаметр, мм</td> <td>2 3 4 5</td> </tr> <tr> <td>Длина, мм</td> <td>300 350 450</td> </tr> </table>	Диаметр, мм	2 3 4 5	Длина, мм	300 350 450	<table border="1"> <tr> <td>Подробнее</td> <td>Одобрения: RS: 2</td> </tr> <tr> <td>SFA/AWS</td> <td>E6013</td> </tr> <tr> <td>EN</td> <td>E 38 0 R 12 / EN 499</td> </tr> <tr> <td>ISO</td> <td>E 38 0 RB 12 / ISO 2560-A</td> </tr> <tr> <td>Технические условия</td> <td>ТУ 1272-139-53304720-2009 / ТУ 1272-139-53304720-2007</td> </tr> <tr> <td>Аналог</td> <td>OK 46.00</td> </tr> </table>	Подробнее	Одобрения: RS: 2	SFA/AWS	E6013	EN	E 38 0 R 12 / EN 499	ISO	E 38 0 RB 12 / ISO 2560-A	Технические условия	ТУ 1272-139-53304720-2009 / ТУ 1272-139-53304720-2007	Аналог	OK 46.00	<table border="1"> <tr> <td>Тип наплавленного металла</td> <td>Э46</td> </tr> <tr> <td>Тип покрытия</td> <td>рутилово-основное</td> </tr> <tr> <td>C — Углерод, %</td> <td>0.11</td> </tr> <tr> <td>Mn — Марганец (Г), %</td> <td>0.58</td> </tr> <tr> <td>P — Фосфор (П), %</td> <td>0.04</td> </tr> <tr> <td>S — Сера, %</td> <td>0.03</td> </tr> <tr> <td>Si — Кремний (С), %</td> <td>0.17</td> </tr> </table>	Тип наплавленного металла	Э46	Тип покрытия	рутилово-основное	C — Углерод, %	0.11	Mn — Марганец (Г), %	0.58	P — Фосфор (П), %	0.04	S — Сера, %	0.03	Si — Кремний (С), %	0.17	<table border="1"> <tr> <td>Предел текучести, МПа</td> <td>380</td> </tr> <tr> <td>Предел прочности, МПа</td> <td>480</td> </tr> <tr> <td>Удлинение, %</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>KV 0°C, Дж min</td> <td>59</td> </tr> <tr> <td>KCU +20°C, Дж/см2</td> <td>110</td> </tr> <tr> <td>KCU -40°C, Дж/см2</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>Предел текучести, МПа</td> <td>380</td> </tr> </table>	Предел текучести, МПа	380	Предел прочности, МПа	480	Удлинение, %	20	KV 0°C, Дж min	59	KCU +20°C, Дж/см2	110	KCU -40°C, Дж/см2	40	Предел текучести, МПа	380
Тип материала	Электрод сварочный																																																													
Тип сварки	ММА (SMAW) ручная дуговая сварка покрытым электродом																																																													
Назначение	углеродистые стали / низколегированные стали																																																													
Род тока	=+ постоянный ток обратной полярности (плюс на электроде) DC+ / =- постоянный ток прямой полярности (минус на электроде) DC- / ~ переменный ток AC																																																													
Напряжение холостого хода Ух.х., В	65																																																													
Режимы прокали и	150-180°C, 60 мин																																																													
Диаметр, мм	2 3 4 5																																																													
Длина, мм	300 350 450																																																													
Подробнее	Одобрения: RS: 2																																																													
SFA/AWS	E6013																																																													
EN	E 38 0 R 12 / EN 499																																																													
ISO	E 38 0 RB 12 / ISO 2560-A																																																													
Технические условия	ТУ 1272-139-53304720-2009 / ТУ 1272-139-53304720-2007																																																													
Аналог	OK 46.00																																																													
Тип наплавленного металла	Э46																																																													
Тип покрытия	рутилово-основное																																																													
C — Углерод, %	0.11																																																													
Mn — Марганец (Г), %	0.58																																																													
P — Фосфор (П), %	0.04																																																													
S — Сера, %	0.03																																																													
Si — Кремний (С), %	0.17																																																													
Предел текучести, МПа	380																																																													
Предел прочности, МПа	480																																																													
Удлинение, %	20																																																													
KV 0°C, Дж min	59																																																													
KCU +20°C, Дж/см2	110																																																													
KCU -40°C, Дж/см2	40																																																													
Предел текучести, МПа	380																																																													
УОНИИ 13/55	Электроды сварочные УОНИИ13/55 предназначены для сварки особо ответственных изделий из конструкционных низкоуглеродистых и низколегированных сталей с пределом прочности до 520 МПа во всех пространственных положениях, кроме вертикали на спуск, когда к сварному шву предъявляются повышенные требования по пластичности и	<table border="1"> <tr> <td>Тип материала</td> <td>Электрод сварочный</td> </tr> <tr> <td>Тип сварки</td> <td>ММА (SMAW) ручная дуговая сварка покрытым электродом</td> </tr> <tr> <td>Назначение</td> <td>углеродистые стали / низколегированные стали</td> </tr> <tr> <td>Род тока</td> <td>=+ постоянный ток</td> </tr> </table>	Тип материала	Электрод сварочный	Тип сварки	ММА (SMAW) ручная дуговая сварка покрытым электродом	Назначение	углеродистые стали / низколегированные стали	Род тока	=+ постоянный ток	<table border="1"> <tr> <td>Диаметр, мм</td> <td>2.0 2.5 3.0 4.0 5.0</td> </tr> <tr> <td>Длина, мм</td> <td>300 350 450</td> </tr> </table>	Диаметр, мм	2.0 2.5 3.0 4.0 5.0	Длина, мм	300 350 450	<table border="1"> <tr> <td>SFA/AWS</td> <td>E7015 / E7015-G / AWS A5.5</td> </tr> <tr> <td>ISO</td> <td>E 42 3 B 2 2 H10</td> </tr> <tr> <td>Технические условия</td> <td>ТУ 1272-140-53304740 – 2007 (СВЭЛ)</td> </tr> <tr> <td>Аналог</td> <td>OK 48.00, OK 48.04</td> </tr> </table>	SFA/AWS	E7015 / E7015-G / AWS A5.5	ISO	E 42 3 B 2 2 H10	Технические условия	ТУ 1272-140-53304740 – 2007 (СВЭЛ)	Аналог	OK 48.00, OK 48.04	<table border="1"> <tr> <td>Тип наплавленного металла</td> <td>Э50А</td> </tr> <tr> <td>Тип покрытия</td> <td>основное</td> </tr> <tr> <td>C —</td> <td>0.11</td> </tr> </table>	Тип наплавленного металла	Э50А	Тип покрытия	основное	C —	0.11	<table border="1"> <tr> <td>Предел текучести, МПа</td> <td>440</td> </tr> <tr> <td>Предел прочности, МПа</td> <td>550</td> </tr> <tr> <td>Удлинение, %</td> <td>26</td> </tr> <tr> <td>KV -</td> <td>59</td> </tr> </table>	Предел текучести, МПа	440	Предел прочности, МПа	550	Удлинение, %	26	KV -	59																						
Тип материала	Электрод сварочный																																																													
Тип сварки	ММА (SMAW) ручная дуговая сварка покрытым электродом																																																													
Назначение	углеродистые стали / низколегированные стали																																																													
Род тока	=+ постоянный ток																																																													
Диаметр, мм	2.0 2.5 3.0 4.0 5.0																																																													
Длина, мм	300 350 450																																																													
SFA/AWS	E7015 / E7015-G / AWS A5.5																																																													
ISO	E 42 3 B 2 2 H10																																																													
Технические условия	ТУ 1272-140-53304740 – 2007 (СВЭЛ)																																																													
Аналог	OK 48.00, OK 48.04																																																													
Тип наплавленного металла	Э50А																																																													
Тип покрытия	основное																																																													
C —	0.11																																																													
Предел текучести, МПа	440																																																													
Предел прочности, МПа	550																																																													
Удлинение, %	26																																																													
KV -	59																																																													

	ударной вязкости, особенно при пониженных температурах и знакопеременных нагрузках.	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="629 188 801 276"></td> <td data-bbox="801 188 1070 276">обратной полярности (плюс на электроде) DC+</td> </tr> <tr> <td data-bbox="629 276 801 331">Режимы проковки</td> <td data-bbox="801 276 1070 331">350-400°C, 2 часа</td> </tr> <tr> <td data-bbox="629 331 801 584">Положение сварки</td> <td data-bbox="801 331 1070 584">1 - нижнее или в лодочку 2 - нижнее в угол 3 - горизонтальный шов на вертикальной плоскости 4 - вертикальный шов на подъём 6 - потолочный шов</td> </tr> </table>		обратной полярности (плюс на электроде) DC+	Режимы проковки	350-400°C, 2 часа	Положение сварки	1 - нижнее или в лодочку 2 - нижнее в угол 3 - горизонтальный шов на вертикальной плоскости 4 - вертикальный шов на подъём 6 - потолочный шов			<table border="1"> <tr> <td data-bbox="1760 188 1861 244">Углерод, %</td> <td data-bbox="1861 188 1962 244"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="1760 244 1861 355">Mn — Марганец (Г), %</td> <td data-bbox="1861 244 1962 355">0.95 / 1.7</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1760 355 1861 467">P — Фосфор (П), %</td> <td data-bbox="1861 355 1962 467">0.025</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1760 467 1861 555">S — Сера, %</td> <td data-bbox="1861 467 1962 555">0.025</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1760 555 1861 667">Si — Кремний (С), %</td> <td data-bbox="1861 555 1962 667">0.3 / 0.7</td> </tr> </table>	Углерод, %		Mn — Марганец (Г), %	0.95 / 1.7	P — Фосфор (П), %	0.025	S — Сера, %	0.025	Si — Кремний (С), %	0.3 / 0.7	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="1984 188 2085 244">30°C, Дж min</td> <td data-bbox="2085 188 2172 244"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="1984 244 2085 331">KV - 40°C, Дж min</td> <td data-bbox="2085 244 2172 331">35</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1984 331 2085 419">KCU +20°C, Дж/см2</td> <td data-bbox="2085 331 2172 419">130</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1984 419 2085 507">KCU - 40°C, Дж/см2</td> <td data-bbox="2085 419 2172 507">80</td> </tr> </table>	30°C, Дж min		KV - 40°C, Дж min	35	KCU +20°C, Дж/см2	130	KCU - 40°C, Дж/см2	80																										
	обратной полярности (плюс на электроде) DC+																																																							
Режимы проковки	350-400°C, 2 часа																																																							
Положение сварки	1 - нижнее или в лодочку 2 - нижнее в угол 3 - горизонтальный шов на вертикальной плоскости 4 - вертикальный шов на подъём 6 - потолочный шов																																																							
Углерод, %																																																								
Mn — Марганец (Г), %	0.95 / 1.7																																																							
P — Фосфор (П), %	0.025																																																							
S — Сера, %	0.025																																																							
Si — Кремний (С), %	0.3 / 0.7																																																							
30°C, Дж min																																																								
KV - 40°C, Дж min	35																																																							
KCU +20°C, Дж/см2	130																																																							
KCU - 40°C, Дж/см2	80																																																							
MP-3C	Электроды сварочные MP-3C предназначены для ручной дуговой сварки рядовых и ответственных конструкций из углеродистых сталей, когда к формированию швов в различных пространственных положениях предъявляют повышенные требования.	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="629 727 752 807">Тип материала</td> <td data-bbox="752 727 1070 807">Электрод сварочный</td> </tr> <tr> <td data-bbox="629 807 752 895">Тип сварки</td> <td data-bbox="752 807 1070 895">ММА (SMAW) ручная дуговая сварка покрытым электродом</td> </tr> <tr> <td data-bbox="629 895 752 1007">Назначение</td> <td data-bbox="752 895 1070 1007">углеродистые стали / низколегированные стали / конструкционные стали</td> </tr> <tr> <td data-bbox="629 1007 752 1118">Род тока</td> <td data-bbox="752 1007 1070 1118">=+ постоянный ток обратной полярности (плюс на электроде) DC+ / ~ переменный ток AC</td> </tr> <tr> <td data-bbox="629 1118 752 1262">Напряжение холостого хода U_{х.х.}, В</td> <td data-bbox="752 1118 1070 1262">50</td> </tr> <tr> <td data-bbox="629 1262 752 1430">Положение сварки</td> <td data-bbox="752 1262 1070 1430">1 - нижнее или в лодочку 2 - нижнее в угол 3 - горизонтальный шов на вертикальной плоскости 4 - вертикальный шов на подъём</td> </tr> </table>	Тип материала	Электрод сварочный	Тип сварки	ММА (SMAW) ручная дуговая сварка покрытым электродом	Назначение	углеродистые стали / низколегированные стали / конструкционные стали	Род тока	=+ постоянный ток обратной полярности (плюс на электроде) DC+ / ~ переменный ток AC	Напряжение холостого хода U _{х.х.} , В	50	Положение сварки	1 - нижнее или в лодочку 2 - нижнее в угол 3 - горизонтальный шов на вертикальной плоскости 4 - вертикальный шов на подъём	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="1120 727 1198 919">Диаметр, мм</td> <td data-bbox="1198 727 1294 919">2.5 3 4 5 6</td> </tr> </table>	Диаметр, мм	2.5 3 4 5 6	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="1326 727 1464 759">SFA/AWS</td> <td data-bbox="1464 727 1688 759">E6013</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1326 759 1464 791">EN</td> <td data-bbox="1464 759 1688 791">382RC12 / EN 499</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1326 791 1464 839">DIN</td> <td data-bbox="1464 791 1688 839">E4332R(C)3 / DIN 1913</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1326 839 1464 927">Технические условия</td> <td data-bbox="1464 839 1688 927">ТУ 1272-075-01055859-2003</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1326 927 1464 959">Аналог</td> <td data-bbox="1464 927 1688 959">OK 46.00</td> </tr> </table>	SFA/AWS	E6013	EN	382RC12 / EN 499	DIN	E4332R(C)3 / DIN 1913	Технические условия	ТУ 1272-075-01055859-2003	Аналог	OK 46.00	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="1760 727 1861 895">Тип наплавленного металла</td> <td data-bbox="1861 727 1962 895">Э46</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1760 895 1861 983">C — Углерод, %</td> <td data-bbox="1861 895 1962 983">0.12</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1760 983 1861 1094">Mn — Марганец (Г), %</td> <td data-bbox="1861 983 1962 1094">0.35 / 0.70</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1760 1094 1861 1206">P — Фосфор (П), %</td> <td data-bbox="1861 1094 1962 1206">0 / 0.04</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1760 1206 1861 1286">S — Сера, %</td> <td data-bbox="1861 1206 1962 1286">0 / 0.045</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1760 1286 1861 1398">Si — Кремний (С), %</td> <td data-bbox="1861 1286 1962 1398">0.09 / 0.25</td> </tr> </table>	Тип наплавленного металла	Э46	C — Углерод, %	0.12	Mn — Марганец (Г), %	0.35 / 0.70	P — Фосфор (П), %	0 / 0.04	S — Сера, %	0 / 0.045	Si — Кремний (С), %	0.09 / 0.25	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="1984 727 2085 807">Предел прочности, МПа</td> <td data-bbox="2085 727 2172 807">460</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1984 807 2085 871">Удлинение, %</td> <td data-bbox="2085 807 2172 871">20</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1984 871 2085 951">KCV 20°C, Дж/см2</td> <td data-bbox="2085 871 2172 951">80</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1984 951 2085 1031">Предел прочности, МПа</td> <td data-bbox="2085 951 2172 1031">460</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1984 1031 2085 1094">Удлинение, %</td> <td data-bbox="2085 1031 2172 1094">20</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1984 1094 2085 1174">KCV 20°C, Дж/см2</td> <td data-bbox="2085 1094 2172 1174">80</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1984 1174 2085 1254">Предел прочности, МПа</td> <td data-bbox="2085 1174 2172 1254">460</td> </tr> </table>	Предел прочности, МПа	460	Удлинение, %	20	KCV 20°C, Дж/см2	80	Предел прочности, МПа	460	Удлинение, %	20	KCV 20°C, Дж/см2	80	Предел прочности, МПа	460
Тип материала	Электрод сварочный																																																							
Тип сварки	ММА (SMAW) ручная дуговая сварка покрытым электродом																																																							
Назначение	углеродистые стали / низколегированные стали / конструкционные стали																																																							
Род тока	=+ постоянный ток обратной полярности (плюс на электроде) DC+ / ~ переменный ток AC																																																							
Напряжение холостого хода U _{х.х.} , В	50																																																							
Положение сварки	1 - нижнее или в лодочку 2 - нижнее в угол 3 - горизонтальный шов на вертикальной плоскости 4 - вертикальный шов на подъём																																																							
Диаметр, мм	2.5 3 4 5 6																																																							
SFA/AWS	E6013																																																							
EN	382RC12 / EN 499																																																							
DIN	E4332R(C)3 / DIN 1913																																																							
Технические условия	ТУ 1272-075-01055859-2003																																																							
Аналог	OK 46.00																																																							
Тип наплавленного металла	Э46																																																							
C — Углерод, %	0.12																																																							
Mn — Марганец (Г), %	0.35 / 0.70																																																							
P — Фосфор (П), %	0 / 0.04																																																							
S — Сера, %	0 / 0.045																																																							
Si — Кремний (С), %	0.09 / 0.25																																																							
Предел прочности, МПа	460																																																							
Удлинение, %	20																																																							
KCV 20°C, Дж/см2	80																																																							
Предел прочности, МПа	460																																																							
Удлинение, %	20																																																							
KCV 20°C, Дж/см2	80																																																							
Предел прочности, МПа	460																																																							

			5 - вертикальный шов на спуск 6 - потолочный шов				
--	--	--	---	--	--	--	--

Приложение Б

Таблица Основные сведения об отечественных электродах.

Марка эл-да	α_p , г/(Ачас)	α_n , г/(Ачас)	Коэф-т потерь, %	Выход годного металла, %	Выход Наплавл. металла, %	Расход эл-дов на 1 кг напл. металла
МР-3	9,2	8,1	12	54-58	80-85	1,7
АНО-6М	9,4	8,5	9-10	57-62	85-88	1,85
ВСЦ-4	11-13	10-10,5	15-18	50-55	75-80	1,85
АНО-12	8,5-9,5	8-9	6-8	60-65	92-94	1,6
ОЗС-4	9,8	8,5	12-15	57-62	85-88	1,7
ОЗС-6	10,8-12	9,5-10,5	10-12	57-62	85-88	1,65
АНО-14	11,8-12,5	10,7-11,4	10	60-64	110-115	1,6
УОНИ- 13/45	9,8	8,9	4-5	60-63	94-96	1,6
УОНИ- 13/55	9,8	8,9	4-5	60-63	94-96	1,7
ТМУ-21	9,8-10,8	9,5-10,5	0,5-1	62-66	100-102	1,5
ТМУ-21У	9,8-10,8	9,5-10,5	0,5-1	62-66	100-102	1,5
ЦУ-5	8,6	9,0	0,5-2	60-63	102-104	1,6
ТМЛ-1	9,8-10,8	9,5-10,5	0,5-1	62-66	100-102	1,5
ТМЛ-1У	9,8-10,8	9,5-10,5	0,5-1	62-66	100-102	1,5
ТМЛ-3	9,8-10,8	9,5-10,5	0,5-1	62-66	100-102	1,5
ТМЛ-3У	9,8-10,8	9,5-10,5	0,5-1	62-66	100-102	1,5
ЦЦИ-20-67	9-9,8	8,5-9,0	4-6	60-63	96-98	1,6
ЦЦИ-39	8,8	9	0,5-2	60-63	103-105	1,6

ЦТ-26-1	12,7	10,5	10-14	56-60	85-87	1,8
ЦТ-26	12,7	10,5	10-14	56-60	85-87	1,8
ЭА-440/10У	13-13,7	12	8-10	60-64	83-88	1,8
ЭА-440/10Т	13-13,7	12	8-10	60-64	83-88	1,8
ЭА-395/9	12	10,9	6-9	60-64	88-92	1,7
НИАТ-5	12	10,9	6-9	60-64	88-92	1,7
ЦТ-15-1	11,5-12,5	10-11	6-9	60-64	83-88	1,85
ЦТ-15	11,5-12,5	10-11	6-9	60-64	83-88	1,85
ОЗЛ-5	13,5-14	12-13	4-6	61-65	90-95	1,6
ОЗЛ-6	12,5-13,5	11-12	6-8	60-63	83-90	1,6
ЗиО-8	14,5	13,3	4-6	61-63	88-90	1,6
ЦЛ-9	12-13	13,3	4-6	61-63	88-90	1,6
ЦЛ-25	12,5	10,5	10-15	58-60	85-87	1,8

Федеральная служба по интеллектуальной собственности
Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Федеральный институт промышленной собственности»
(ФИПС)

ОТЧЕТ О ПОИСКЕ

1. ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЗАЯВКИ		
Регистрационный номер		Дата подачи
2016100493/02(000653)		11.01.2016
<p>Приоритет установлен по дате:</p> <input checked="" type="checkbox"/> подача заявки <input type="checkbox"/> поступление дополнительных материалов от к ранее поданной заявке № <input type="checkbox"/> приоритета по первоначальной заявке № из которой данная заявка выделена <input type="checkbox"/> подачи первоначальной заявки № из которой данная заявка выделена <input type="checkbox"/> подачи ранее поданной заявки № <input type="checkbox"/> подачи первой (ых) заявки (ок) в государстве-участнике Парижской конвенции (31) Номер первый (ых) заявки (ок) (32) Дата подачи первый (ых) заявки (ок) (33) Код страны		
Название изобретения (полезной модели): <input checked="" type="checkbox"/> - как заявлено; <input type="checkbox"/> - уточненное (см. Примечания) Способ дуговой сварки штучными покрытыми электродами		
Заявитель: Общество с ограниченной ответственностью "Средневолжский сертификационно-диагностический центр "Дельта",RU		
2. ЕДИНСТВО ИЗОБРЕТЕНИЯ		
<input checked="" type="checkbox"/> соблюдено <input type="checkbox"/> не соблюдено. Пояснения: см. Примечания		
3. ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ:		
<input checked="" type="checkbox"/> приняты во внимание все пункты Е 1 приняты во внимание следующие пункты: <input type="checkbox"/> принята во внимание измененная формула изобретения		(см. Примечания) (см. Примечания)
4. КЛАССИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТА ИЗОБРЕТЕНИЯ (ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ) (Указываются индексы МПК и индикатор текущей версии)		
<i>B23K9/14 (2006.01)</i> <i>B23K 9/095 (2006.01)</i>		
5. ОБЛАСТЬ ПОИСКА		
5.1. Проверенный минимум документации РСТ (указывается индексами МПК) B23K 9/00, 9/095, 9/14, 31/00, 31/12 5.2. Другая проверенная документация в той мере, в какой она включена в поисковые подборки: 5.3. Электронные базы данных, использованные при поиске (название базы, и если, возможно, поисковые термины): DEPATISnet, EPATIS, Espacenet, J-PlatPat, K-PION, PatSearch, RUPTO, USPTO		
6. ДОКУМЕНТЫ, ОТНОСЯЩИЕСЯ К ПРЕДМЕТУ ПОИСКА		
Категория*	Наименование документа с указанием (где необходимо) частей, относящихся к предмету поиска	Относится к пункту формулы №
1	2	3
A	RU 2571668 C2 (ООО "СРЕДНЕВОЛЖСКИЙ СЕРТИФИКАЦИОННО-ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР	1-3

(см. на обороте)

1	2	3
A	"ДЕЛЬТА"), 20.12.2015; SU 433980 A (КРАМАТОРСКИЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ), 30.06.1974;	1-3
A	RU 2012132170 A (КУЛИКОВ О.Л.), 10.02.2014;	1-3
A	CN 202028857 U (WENLING WANSHUN MECHANICAL&ELECTRICAL MANUFACTURIBG CO LTD), 0.11.2011;	1-3
A	WO 2013178028 A1 (BOSJOB COMPANY LTD), 05.12.2013.	1-3

*Особые категории ссылочных документов:

«А» документ, определяющий общий уровень техники и не считающийся особо релевантным

«Е» более ранний документ, но опубликованный на дату международной подачи или после нее

«L» документ, подвергающий сомнению притязание(я) на

приоритет, или который приводится с целью установления даты публикации другого ссылочного документа, а также в других целях (как указано)

«O» документ, относящийся к устному раскрытию, использованию, экспонированию и т.д.

«P» документ, опубликованный до даты международной подачи, но после даты испрашиваемого приоритета

«T» более поздний документ, опубликованный после даты международной подачи или даты приоритета и не порочащий заявку, но приведенный для понимания принципа или теории, на которых основывается изобретение

«X» документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска: заявленное изобретение не обладает новизной или изобретательским уровнем в сравнении с документом, взятым в отдельности

«У» документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска; заявленное изобретение не обладает изобретательским уровнем, когда документ взят в сочетании с одним или несколькими документами той же категории, такая комбинация документов очевидна для специалиста

«&» документ, являющийся патентом-аналогом

7. ПРИМЕЧАНИЕ:

8. УДОСТОВЕРЕНИЕ ОТЧЕТА

Настоящий отчет состоит из 1 л.

К отчету приложены копии ссылок на л. в экз.

Дата действительного завершения поиска: **07.11.2016**

Должность и подпись уполномоченного лица:

Поисковый орган:

ФИПС

**Бережковская наб., 30, коп. 1, Москва, Г-59,
ГСП-3, 125993 Телефон (8-499) 240- 60- 15. Факс
(8-495) 531-63- 18; e-mail: fips@rupto. ru__**

ВГЭ по ИС Н.А.Саленко

Федеральная служба по
интеллектуальной собственности
Федеральная Государственное
бюджетное учреждение
«Федеральный институт
промышленной собственности»
(ФИПС)
Бережневская наб., 30, корп. 1, Москва, Г 59,
ГСП-3 125993
Телефон (8-499) 240-60-15.
Факс (8-495) 531-63-18

На № - от –
Наш № 2016100384/02 (000477)
При переписке просим ссылаться на
номер заявки и сообщить дату получения настоящей
корреспонденции
от 20.12.2016

С.В. Абрамовой
Пр-кт Победы, 38-46
Г. Новокуйбышевск
Самарская обл.
446218

Направляем Вам для сведения отчет об информационном поиске, проведенном в соответствии с п.3 ст.1386 Гражданского кодекса Российской Федерации, результаты которого будут использованы при проверки патентоспособности заявленного (ых) изобретения (ий).

Документ по результатам проверки патентоспособности будет направлен в Ваш адрес позднее. Поиск проведен в объеме, предусмотренном п.26.4 Регламента*.

Приложение: на 1 л. в 1 экз.

Ведущий государственный эксперт по интеллектуальной собственности отдела металлургической промышленности и машиностроения ФИПС

Документ подписан электронной подписью
Сведения о сертификате ЭП
Сертификат 7282D49700020000C85
Владелец Саленко Наталья Алексеевна
Срок действия с 12.10.2015 по 01.04.2030

Н.А. Саленко
8 (499) 240-58-94

Административный регламент исполнения Федеральной службой по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам государственной функции по организации приема заявок на изобретение и их рассмотрения, экспертизы и выдачи в установленном порядке патентов Российской Федерации на изобретение зарегистрирован Министерством юстиции Российской Федерации на изобретение зарегистрирован Министерством юстиции Российской Федерации 20.02.2009, рег. № 13413 (Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти от 25.05.2009 № 21).

01		022502
----	--	--------



Федеральная служба по интеллектуальной собственности
Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Федеральный институт промышленной собственности»
(ФИПС)

ОТЧЕТ О ПОИСКЕ

1. ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЗАЯВКИ		
Регистрационный номер		Дата подачи
2016100384/02(000477)		11.01.2016
<p>Приоритет установлен по дате:</p> <input checked="" type="checkbox"/> подача заявки <input type="checkbox"/> поступление дополнительных материалов от к ранее поданной заявке № <input type="checkbox"/> приоритета по первоначальной заявке № из которой данная заявка выделена <input type="checkbox"/> подачи первоначальной заявки № из которой данная заявка выделена <input type="checkbox"/> подачи ранее поданной заявки № <input type="checkbox"/> подачи первой (ых) заявки (ок) в государстве-участнике Парижской конвенции (31) Номер первый (ых) заявки (ок) (32) Дата подачи первый (ых) заявки (ок) (33) Код страны		
Название изобретения (полезной модели): <input checked="" type="checkbox"/> - как заявлено; <input type="checkbox"/> - уточненное (см. Примечания) Способ дуговой сварки штучными покрытыми электродами		
Заявитель: Общество с ограниченной ответственностью "Средневолжский сертификационно-диагностический центр "Дельта",RU		
2. ЕДИНСТВО ИЗОБРЕТЕНИЯ		
<input checked="" type="checkbox"/> соблюдено <input type="checkbox"/> не соблюдено. Пояснения: см. Примечания		
3. ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ:		
<input checked="" type="checkbox"/> приняты во внимание все пункты Е 1 приняты во внимание следующие пункты: <input type="checkbox"/> принята во внимание измененная формула изобретения		(см. Примечания) (см. Примечания)
4. КЛАССИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТА ИЗОБРЕТЕНИЯ (ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ) (Указываются индексы МПК и индикатор текущей версии)		
B23K 35/02 (2006.01) B23K 9/14 (2006.01)		
5. ОБЛАСТЬ ПОИСКА		
5.1. Проверенный минимум документации РСТ (указывается индексами МПК) B23K 9/00, 9/095, 9/14, 31/00, 31/12 5.2. Другая проверенная документация в той мере, в какой она включена в поисковые подборки: Сварка в машиностроении, Справочник, М., Машиностроение, 1978, т.2, с.38, рис. 1 5.3. Электронные базы данных, использованные при поиске (название базы, и если, возможно, поисковые термины): DEPATISnet, EPATIS, Espacenet, J-PlatPat, K-PION, PatSearch, RUPTO, USPTO		
6. ДОКУМЕНТЫ, ОТНОСЯЩИЕСЯ К ПРЕДМЕТУ ПОИСКА		
Категория*	Наименование документа с указанием (где необходимо) частей, относящихся к предмету поиска	Относится к пункту формулы №
1	2	3
A	Сварка в машиностроении, Справочник, М., Машиностроени	1-3

(см. на обороте)

1	2	3
A	1978, т.2, с.38, рис.1;	
A	SU 456696 А (КРАСНОДАРСКИЙ ФИЛИАЛ ВНИИМОНТАЖСПЕЦСТРОЙ), 15.01.1975;	1-3
A	SU 1646753 А1 (СКТЬ "ИСКРА"), 17.05.1991;	1-3
A	SU 601102 А (КРАСНОДАРСКИЙ ФИЛИАЛ ВНИИМОНТАЖСПЕЦСТРОЙ), 05.04.1978;	1-3
A	SU 165038 А1 (КИЕВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ), 30.05.1991.	1-3
<p>*Особые категории ссылочных документов: «А» документ, определяющий общий уровень техники и не считающийся особо релевантным «Е» более ранний документ, но опубликованный на дату международной подачи или после нее «L» документ, подвергающий сомнению приязание(я) на приоритет, или который приводится с целью установления даты публикации другого ссылочного документа, а также в других целях (как указано) «О» документ, относящийся к устному раскрытию, использованию, экспонированию и т.д. «Р» документ, опубликованный до даты международной подачи, но после даты испрашиваемого приоритета «Т» более поздний документ, опубликованный после даты международной подачи или даты приоритета и не порочащий заявку, но приведенный для понимания принципа или теории, на которых основывается изобретение</p>		<p>«Х» документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска: заявленное изобретение не обладает новизной или изобретательским уровнем в сравнении с документом, взятым в отдельности «У» документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска; заявленное изобретение не обладает изобретательским уровнем, когда документ взят в сочетании с одним или несколькими документами той же категории, такая комбинация документов очевидна для специалиста «&» документ, являющийся патентом-аналогом</p>
7. ПРИМЕЧАНИЕ:		
8. УДОСТОВЕРЕНИЕ ОТЧЕТА		
Настоящий отчет состоит из 1 л.	К отчету приложены копии ссылок на л. в экз.	
Дата действительного завершения поиска: 07.11.2016	Должность и подпись уполномоченного лица:	
<p align="center">Поисковый орган: ФИПС Бережковская наб., 30, коп. 1, Москва, Г-59, ГСП-3, 125993 Телефон (8-499) 240- 60- 15. Факс (8-495) 531-63- 18; e-mail: fips@rupto. ru__</p>	ВГЭ по ИС Н.А.Саленко	

Приложение Г

Уведомление о рассмотрении ходатайства о проведении экспертизы заявки

Федеральная служба по
интеллектуальной собственности
Федеральная Государственное
бюджетное учреждение
«Федеральный институт
промышленной собственности»
(ФИПС)

Бережневская наб., 30, корп. 1, Москва, Г59,
ГСП-3 125993

Телефон (8-499) 240-60-15.

Факс (8-495) 531-63-18

На № 10 от 15.03.2016

Наш № 2016110977/02 (017329)

При переписке просим ссылаться на
номер заявки и сообщить дату получения настоящей
корреспонденции

от 23.06.2016

Форма № 09 (1) ИЗ 2013
091

С.В. Абрамовой
Пр-кт Победы, 38-46
Г. Новокуйбышевск
Самарская обл.
446218

У В Е Д О М Л Е Н И Е

о рассмотрении ходатайства о проведении экспертизы заявки на изобретение по существу

По результатам рассмотрения Вашего ходатайства о проведении экспертизы заявки № 2016110977/02 (017329) по существу, поступившего 24.03.2016 уведомляем Вас о том, что экспертиза заявки по существу будет проведена в отношении одного независимого(ых) пункта(ов) формулы изобретения, принятой к рассмотрению по результатам проведения формальной экспертизы.

Обращаем Ваше внимание на то, что:

информация о состоянии делопроизводства по заявкам на выдачу патента на изобретение, по данным после 01.01.2007, размещена на сайте Роспатента по адресам: «www.rupto.ru», «www.fips.ru».

Главный специалист отдела учета патентных
пошлин ФИПС

Н.А. Кузовкина
8(499) 243-76-92

(см. на обороте)

01	ЭСЗ 24.03.2016	026012
----	----------------	--------

При изменении адреса для переписки просим своевременно сообщить об этом.