

На правах рукописи

Князьков Виктор Леонидович



ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ
МОДУЛИРОВАННЫМ ТОКОМ ЭЛЕКТРОДАМИ С ПОКРЫТИЕМ
ЗА СЧЕТ АВТОМАТИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИИ ПАРАМЕТРОВ
РЕЖИМА К ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ ПРОЦЕССУ

Специальность 05.03.06
«Технологии и машины сварочного производства»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Барнаул - 2006

Работа выполнена в АНО «Кузбасский центр сварки»

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент,
КНЯЗЬКОВ Анатолий Федорович

Официальные оппоненты – доктор технических наук, профессор,
МАРКОВ Василий Алексеевич
кандидат технических наук, профессор,
ВОЛЬФЕРЦ Геннадий Анатольевич

Ведущее предприятие – ООО «Юргинский машиностроительный завод», г. Юрга Кемеровской обл.

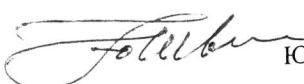
Защита состоится 14 декабря 2006 г. в 13.00 на заседании диссертационного совета Д 212.004.01 при Алтайском государственном техническом университете им. И.И. Ползунова (АлтГТУ) по адресу: 656038, Россия, г. Барнаул, пр. Ленина, 46

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова

Автореферат разослан «__» 2006 г.

Ваш отзыв на автореферат (в одном экземпляре, заверенный гербовой печатью) просим направлять в адрес Университета на имя ученого секретаря Совета.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент

 Ю.О. Шевцов

Актуальность темы: Надёжность сварных соединений металлоконструкций технических устройств в электроэнергетической, нефтегазодобывающей, горнодобывающей, химической, машиностроительной и других отраслях народного хозяйства существенно влияет на безопасность и экономическую эффективность производства.

При сварке металлоконструкций, трудно поддающихся методам рациональной механизации, автоматизации и роботизации, ручная дуговая сварка электродами с покрытием является, одним из ведущих технологических процессов. Объясняется это гибкостью, простотой, универсальностью и меньшими затратами на вспомогательные операции и оборудование. По этим причинам ручная дуговая сварка покрытыми электродами при ремонте, монтаже и реконструкции технических устройств не имеет альтернативы.

Для обеспечения качества сварных соединений, в положениях шва отличных от нижнего, сварщику необходимо в процессе сварки решать две трудно совместимые проблемы.

Первая проблема – выполняя сварку во всех пространственных положениях шва, обеспечивать его качественное формирование без чрезмерной деформации сварочной ванны.

Вторая проблема, которую необходимо решить сварщику это плавление электрода на режимах, обеспечивающих устойчивость сварочной дуги, без чрезмерного разбрзгивания, образования козырька (несимметричной втулочки), отваливания участков покрытия, отсутствие внутренних дефектов в виде пор, свищей, шлаковых включений и др. т.е. обеспечение максимально возможных сварочно-технологических свойств электрода.

При этом химический состав, механические и специальные свойства сварных соединений должны быть в пределах, установленных нормативной документацией.

С целью обеспечения качественного формирования шва сварщик управляет тепловой мощностью дуги путём механического перемещения электрода относительно его главной оси, изменяя скорость перемещения, угол наклона электрода и т.д., а также периодическим прерывая процесс, как при сварке корня шва, так и при выполнении заполняющих слоев. Воздействуя, таким образом, на тепловую мощность дуги он регулирует её проплавляющую способность и жидкотекучесть, иначе – вручную осуществляет модуляцию теплового потока. В результате прерывания дуги в шве зачастую образуются дефекты в виде свищей, пор, сеток пор, шлаковых включений и нарушения формы шва. Решение вышеуказанных задач связывается с возможностями повышения эффективности ручной дуговой сварки методами модулирования тока. По сравнению со сваркой стационарной дугой, сварка модулированным током имеет ряд основных преимуществ, это улучшение формирования шва во всех пространственных

положениях, повышение механических свойств, сварных соединений, улучшение дегазации сварочной ванны, снижение сварочных деформаций и др.

Несмотря на перечисленные достоинства, РД сварка модулированным током в условиях монтажа, ремонта и реконструкции практически не применяется. Это связано с тем, что существующие способы сварки модулированным током работают по жестким программам, не учитывающим теплофизическую обстановку в зоне сварки и физиологические возможности сварщика. Иначе такие методы можно обобщить концепцией «машина-технология», где сварщику отводится роль механизма перемещающего электрод. Он не может не замедлить, не ускорить процесс сварки. Недостатки существующих способов можно устраниТЬ, предоставив сварщику возможность управления тепловой мощностью дуги в зависимости от обстановки в зоне сварки. Иначе такую концепцию можно представить «машина-человек-технология».

Цель работы: является разработка методов импульсной модуляции сварочного тока и технических средств их реализации при РДС покрытыми электродами, обеспечивающих повышение качества сварных соединений в рамках концепции «машина-человек-технология».

Для достижения указанной цели в настоящей работе были поставлены следующие задачи:

1. Провести анализ существующих решений и определить направление исследований.
2. Разработать модель переноса электродного металла при РД сварке электродами с основным покрытием.
3. Разработать алгоритмы управления процессом сварки, модулированным током в соответствии с концепцией «человек-машина-технология».
4. Разработать технические средства модуляции второго поколения.
5. Исследовать сварочно-технологические свойства электродов с покрытием при импульсной модуляции.
6. Разработать методику определения параметров импульсов для данных электродов при модуляции сварочного тока с активным управлением тепловой мощностью дуги.

Научная новизна: проведенного диссертационного исследования заключается в том, что:

1. Установлено, что область номинальных токов, в которой наилучшим образом реализуются сварочно-технологические свойства электродов с основным покрытием и Кп – 60-65% превышает величины, предложенные в нормативных документах на 50 – 100%.

2. Разработан метод сварки с раздельным регулированием режимов для электрода и сварочной ванны.

3. Разработана методика определения номинального тока сварки для данных электродов с основным покрытием, при котором обеспечивается сварка без коротких замыканий дугового промежутка каплей электродного металла.

4. Разработана методика, которая позволяет значительно повысить физическую устойчивость горения дуги, технологическую устойчивость процесса и стойкость металла шва к порообразованию во всех пространственных положениях шва.

5. Разработаны, запатентованы и внедрены в производство методы активного управления тепловой мощностью дуги, реализующие концепцию «машина-человек-технология».

6. Установлено, что в наплавленном модулированным током металле содержание углерода, кремния, марганца и ванадия выше, чем при сварке в стационарном режиме при одинаковых значениях среднего тока и тока стационарной дуги.

7. Разработан метод устранения влияния пульсаций светового потока при модуляции сварочного тока на функцию зрения сварщика.

Практическая значимость: 1. Разработан, запатентован и внедрен в производство способ сварки, позволяющий повысить качество сварочных работ при сварке во всех пространственных положениях шва.

2. Разработан и внедрен в производство процесс РД сварки модулированным током с активным управлением тепловой мощностью сварочной дуги электродами с покрытием.

3. Даны рекомендации выбору оптимальных режимов сварки модулированным током электродами с покрытием с активным управлением мощностью дуги и технике сварки.

4. Предложен способ сварки, позволяющий в полной мере реализовать индивидуальные функциональные возможности сварщика, т.е. варить в таком темпе, при котором данный сварщик способен обеспечить требуемое качество.

5. Повышена комфортность выполнения сварки неповоротных швов.

6. Разработано, изготовлено и внедрено в производство техническое устройство, реализующее процесс сварки с активным управлением тепловой мощностью дуги, реализующее концепцию «машина-человек-технология».

Реализация результатов работы: Изготовленный, с использованием данных полученных в результате теоретических и экспериментальных исследований модулятор сварочного тока применялся при сварке труб поверхностей нагрева котлоагрегатов Томь-Усинской ГРЭС и ремонте барабана котла высокого давления Пк-10 станционный № 2 Южно-Кузбасской ГРЭС в период капитального ремонта в июле 2003 г. Акты внедрения результатов работы имеются в приложении к диссертации. Неразрушающий ультразвуковой контроль и гидравлические испытания (1,25 рабочего

давления) элементов котлоагрегатов, сваренных с использованием модулятора, показали отсутствие дефектов и высокую работоспособность сварных соединений.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Модель переноса электродного металла при РД сварке модулированным током.
2. Методы регулирования величины среднего тока в процессе сварки.
3. Методики определения номинальных параметров, режимов процесса сварки электродами с покрытием, независимо от пространственного положения шва.
4. Зависимости сварочно-технологических свойств электродов, стойкости к образованию пор и внутренних дефектов при относительном удлинении дуги от величины тока сварки при сварке стационарной и импульсной дугой.
5. Метод устранения влияния пульсаций светового потока при модуляции сварочного тока на функцию зрения сварщика.
6. Результаты экспериментальных исследований зависимости химического состава углеродистых и теплоустойчивых сталей от величины среднего тока.
7. Метод повышения физической устойчивости дуги и технологического процесса сварки в период основной паузы.

Апробация работы. Результаты данной работы были представлены на Международной научно-технической конференции «Сварка, контроль, реновация» в октябре 2003 г. в г. Уфе. 9 Международной научной конференции «Современные техника и технологии» в апреле 2003 года в г. Томске. Всероссийской научно-практической конференции «Сварка и металлургия» СиБГИУ, г. Новокузнецк, октябрь 2003 г. Научно-производственном форуме «Экологические проблемы и техногенная безопасность строительства, эксплуатации и реконструкции нефтегазопроводов, новые технологии и материалы» в марте 2005 г. в г. Томске. Международной научно-практической конференции «Сварка, контроль, реновация» в г. Уфе в октябре 2006 г.

Публикации. Материалы исследований опубликованы в двенадцати работах. По результатам работы получено два патента на изобретение.

Публикации. Материалы исследований опубликованы в одиннадцати работах. По результатам работы получено два патента на изобретение.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы (135 наименований) и приложений. Работа выполнена на 156 страницах, содержит 81 рисунок, 19 таблиц, 7 страниц приложения.

6 СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность проблемы качества и производительности РД сварки, приведены цели и задачи исследований. Кратко представлены методы исследований, и оборудование, обеспечивающее достоверность исследований, научная новизна и практическая ценность работы.

В первой главе «Анализ современного состояния разработки методов и технических средства реализации ручной дуговой сварки модулированным током» проведен анализ причин низкой производительности и качества РД сварки в условиях монтажа, ремонта и реконструкции технических устройств. На основе работ В.В. Баженова, И.Н. Ворновицкого, Н.Г. Дюргерова, Д.А. Дудко, В.С. Сидорука, Р.И. Дедюха, И.И. Зарубы, А.Ф. Князькова, А.Г. Мазеля и др. исследованы недостатки технологических процессов РД сварки током стационарной дуги и модулированным током. Изучены основные направления и результаты исследований, выполненных с целью решения указанных проблем. Это активное воздействие на энергетические процессы в дуге и подбор специальных обратных связей в системе источник тока – сварочная цепь – дуга.

Одним из путей решения указанных проблем, было применение электродов малого диаметра для сварки во всех пространственных положениях швов. Это не решило проблему в связи со снижением производительности и низким качеством швов. Низкое качество при сварке электродами малого диаметра связано с тем, что при уменьшении диаметра электрода менее 3 мм снижаются защитные свойства покрытий. Зависимости газонасыщения металла швов от диаметра электрода и коэффициента массы покрытия (Кп) показаны на рис.1.

Преодоление этой проблемы связывали с разработкой электродов с увеличенным Кп до 60 – 65% вместо обычных 40 – 45%. Однако, увеличением Кп проблему решить не удалось вследствие необходимости одновременного повышения тока сварки и, соответственно, увеличения массы сварочной ванны, что усложнило сварку в положениях шва отличных от нижнего. Регулирование массы сварочной ванны с целью получения качественного формирования шва во всех пространственных положениях традиционными способами (снижение тока сварки, прерывание горения дуги, уменьшение диаметра электрода, применением существующих способов РД сварки модулированным током) не эффективно и приводит к образованию дефектов.

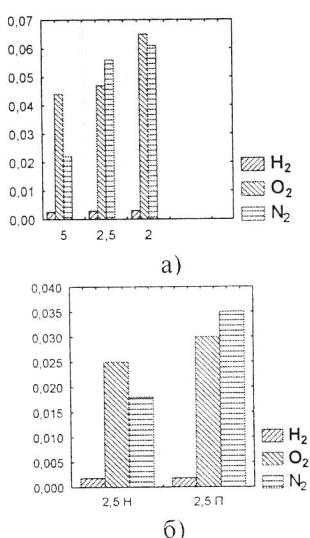


Рис. 1. Содержание газов в металле швов. а) выполненных электродами УОНИ 13/55 различных диаметров с Кп = 40%; б) выполненных электродами марки ЦУ-5 с Кп = 65%, диаметром 2,5 мм в нижнем (Н) и потолочном (П) положениях швов

«машина-технология» и не достижения цели повышения качества необходимо выполнять регулирование массы сварочной ванны в зависимости от условий сварки без прерывания процесса плавления электрода.

Все перечисленные проблемы существенно влияют на качество и производительность сварки.

В результате анализа недостатков существующих методов РД сварки модулированным током причин низкой производительности и качества РД сварки во всех пространственных положениях шва сформулированы задачи работы.

Во второй главе «Разработка модели переноса электродного металла при РД сварке покрытыми электродами модулированным током» выполнен анализ сил, действующих на каплю металла на различных этапах ее формирования при РД сварке модулированным током.

Доказано, что одной из главных сил, определяющих перенос электродного металла при РД сварке, является сила давления газов Фрд,

Методы сварки модулированным током лишь частично устранили эти недостатки и добавили новые проблемы, такие как снижение физической устойчивости дуги и технологической устойчивости процесса, отрицательное воздействие пульсаций светового потока на зрительную функцию сварщика. Усложнилась задача определения номинальных параметров процесса в связи с появлением вместо одного регулируемого параметра – тока сварки, как минимум четырех – тока импульса, тока паузы, длительности импульса и длительности пауз.

При существующих методах РД сварки модулированным током, который изменяется по программе, сварщик выполняет функцию механизма, плавно перемещающего электрод вдоль стыка, он не может не ускорить, не замедлить темп сварки. Такие методы РД модулированным током с использованием модуляторов первого поколения реализуют концепцию

нашли применения в промышленности. Для

качества РД сварки модулированным током

и не достижения цели повышения

образующихся при разложении газообразующих компонентов покрытия. Установлена зависимость газовыделения от величины тока сварки $I_{\text{св}}$.

В результате анализа, действия силы давления газов F_g , выделяющихся при разложении компонентов покрытия электродов построена схема зависимости величины радиальной F_r и осевой F_o , составляющих силы F_r от геометрических размеров втулочки покрытия, которая приведена на рис. 2.

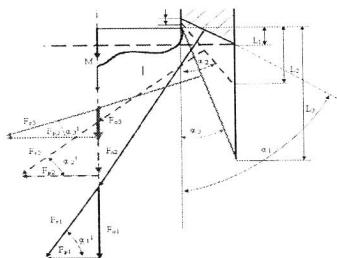
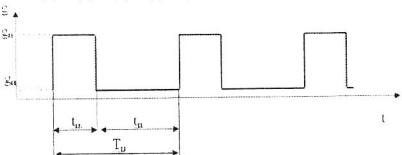
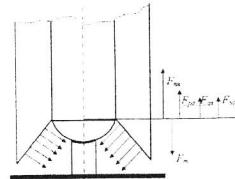


Рис. 2. Схема действия сил, возникающих в результате действия газовых потоков в зависимости от угла наклона внутренней поверхности электродного покрытия форсировать силы способствующиеющие отделению капли и более эффективно управлять переносом электродного металла.

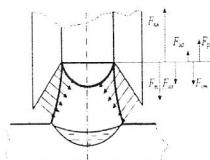
Разработана модель переноса электродного металла, при РД сварке модулированным током, наиболее полно отражающая все особенности и специфику этого процесса, основные этапы которой представлена на рис. 3 а); б); в); г); д).



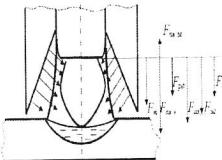
а) График теплового потока, вводимого в торец электрода



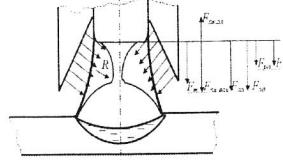
б) Схема модели на этапе паузы



в) Схема модели в начале теплового импульса



г) Схема модели в момент установления контакта капли с ванной



д) Схема модели на завершающем этапе перехода капли в сварочную ванну

Рис. 3. Модель переноса электродного металла, при РД сварке модулированным током

На приведенной схеме показано, что в результате увеличения угла наклона внутренней поверхности втулочки покрытия электрода возрастает величина силы F_o и снижается величина силы F_r , что положительно влияет на характер переноса металла и величину разбрзывания электродного металла.

Анализ комплекса сил, действующих на расплавленный металл на торце электрода при РД сварке показывает, что используя преимущества сварки модулированным током можно

Обозначения, принятые на рис. 3: а) g – тепловой поток; g_u – тепловой поток во время импульса тока; g_n – тепловой поток во время паузы тока; T_y – период следования тепловых импульсов, б); в); г); д) F_{nu} – сила поверхностного натяжения; F_m – сила тяжести; F_{po} – реактивного давления паров испаряющегося металла с активного пятна; F_{om} – электромагнитная сила, которая преобладающе будет действовать на этапе короткого замыкания дугового промежутка; F_{ox} – сила давления газов, испаряющихся с поверхности втулки при разложении газообразующих компонентов покрытия, которая будет усиливать аэродинамическую силу F_{ox} ; F_{ot} – сила отдачи на электрод.

Разработанная модель показывает, что методы импульсной модуляции сварочного тока позволяют оказывать влияние на процесс переноса электродного металла в сварочную ванну. Характер переноса (крупнокапельный или мелкокапельный) определяется геометрией втулочки покрытия на торце электрода, которая в свою очередь зависит от тугоплавкости покрытия.

Установлено, что роль сил давления газов, образовавшихся при плавлении покрытия на процесс каплеобразования и переноса электродного металла минимальна в начале процесса и возрастает в процессе роста и перехода капли в сварочную ванну. При касании каплей поверхности ванны возрастает давление газов, образующихся при плавлении покрытия и разложении газообразующих компонентов в результате изменения формы переходящей капли.

Теоретически и экспериментально доказано, что при сварке модулированным током можно управлять периодом каплеобразования, при этом в зависимости от параметров импульсов можно получать различный характер переноса капель электродного металла в период основного импульса.

В третьей главе «Разработка методов модуляции сварочного тока при ручной дуговой сварке электродами с покрытием» сформулированы требования к модуляции тока при РДС покрытыми электродами, реализующими концепцию «человек-машина-технология»:

1. Отсутствие восприятия человеком-оператором (сварщиком), пульсаций светового потока.
2. Возможность автоматического управления тепловой мощностью дуги.
3. Повышение производительности сварки во всех пространственных положениях шва.
4. Повышение качества сварки во всех пространственных положениях шва.
5. Возможность обучения сварщика навыкам использования технологии сварки реализующей концепцию «человек-машина-технология» более просто, чем при сварке стационарной дугой с использованием силы отдачи на электрод.

6. Обеспечение быстрого и точного выбора оптимального режима сварки.

7. Обеспечение физической устойчивости горения дуги и технологической устойчивости процесса сварки.

8. Стабильность массопереноса электродного металла через дуговой промежуток во время короткого замыкания.

Разработаны методы активного управления процессом РД сварки модулированным током, применение которых позволит сварщику управлять тепловой мощностью дуги. При РДС электродами с покрытием модулированным током, модулирующим параметром является напряжение дугового промежутка – U_o , которое сварщик изменяет в пределах 1,5 - 2 Вольт без нарушения газошлаковой защиты зоны сварки. Модулируемым параметром режима являются длительность основной паузы $t_{n.osn}$, длительность основного импульса $t_{u.osn}$ или одновременно длительность основной паузы и основного импульса $t_{u.osn} + t_{n.osn}$.

В результате изменения модулируемых параметров изменяется численное значение величины среднего тока – I_{cp} .

Циклограммы вышенназванных методов представлены на рис. 4: а), б), в), г), д).

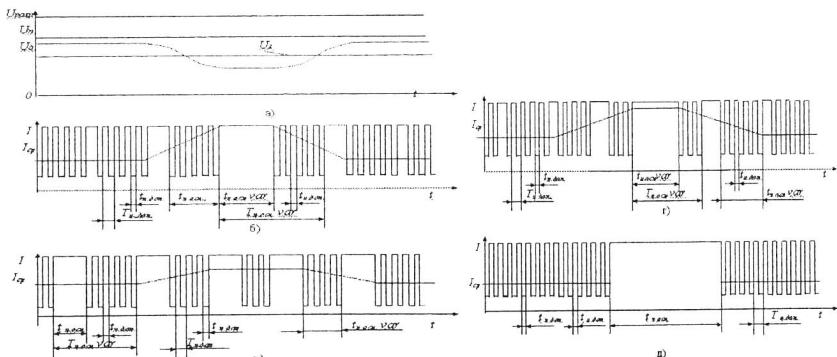


Рис. 4. Циклограммы методов сварки модулированным током с активным управлением тепловой мощностью: а) циклограмма изменения U_o относительно U_3 ; б) метод РД сварки с импульсной модуляцией $t_{u.osn}$; в) метод РД сварки с импульсной модуляцией $t_{n.osn}$; г) метод РД сварки с импульсной модуляцией одновременно $t_{u.osn} + t_{n.osn}$; д) метод РД сварки реализующий релейный режим,

где I_u – ток импульса; I_n – ток паузы; $I_{u.dop}$ – ток дополнительного импульса $T_{u.osn}$ – период основного цикла; t_u – период основного импульса;

t_n – период основной паузы; $T_{u.dop..}$ – период дополнительного цикла $t_{u.dop}$ – период импульса дополнительного; $t_{n.dop..}$ – период дополнительной паузы, I_{cp} – средний ток, U_o – напряжение дуги; U_3 – заданное напряжение; U_n – пороговое напряжение; $U_{разр}$ – напряжение разрыва дуги.

$$I_{cp} = \frac{I_u t_u + (I_{u_oon})n + (I_n t_{n_oon})n}{t_u + t_n} \text{ (A)}, \quad (1)$$

где n – количество дополнительных импульсов в паузе;

$$n = t_{n_oon} f_{u_oon};$$

f_{u_oon} – частота дополнительных импульсов, Гц.

Приведенная выше формула пригодна для расчета I_{cp} при отсутствии активного управления мощностью дуги, т.е. все величины $t=\text{const}$, а также при активном управлении, когда эти величины не постоянны и изменяются по алгоритмам, приведенным на рис.4.

Выше представленные методы активного управления тепловой мощностью дуги позволяют сварщику управлять массой сварочной ванны в зависимости от условий сварки.

Ранее считалось, что увеличение длины дуги, особенно при сварке электродами с основным покрытием должно привести к порообразованию. Однако, в результате теоретических исследований выполненных во второй главе, была показана возможность изменения каплеобразования и более полного использования защитных свойств покрытия.

Предлагаемый метод регулирования массы сварочной ванны возможен лишь в случае обеспечения стойкости металла шва против образования пор. С целью проверки были проведены исследования режимов, при которых происходит наиболее благоприятный характер переноса электродного металла, качественная защита сварочной ванны и лучшие сварочно-технологические свойства электродов.

Исследование сварочно-технологических свойств, а также наличия дефектов производилось в различных интервалах удлинения дуги ($\pm 2\text{B}$ от величины U_3). Первый вариант (1 вар.) $U_3 - 2\text{B}$, второй вариант (2 вар.) $U_3 = U_u$, третий вариант (3 вар.) $U_3 + 2\text{B}$. Величины напряжений и токов в процессе наплавки контролировалась записью осциллографом на регистраторе сварочных процессов MPC-02м. Показатели сварочно-технологических свойств электродов в зависимости от длины дуги фиксировались по величине среднего напряжения U_{cp} на отмеченных участках швов и оценивались по нормам, приведенным в ГОСТ 9466. Результаты исследований представлены на рис. 5.

Анализ результатов представленных на рис. 5 показывает, что для данных электродов марок ЦУ-5 и ЦЛ-39 номинальным значение тока сварки I_u при котором проявляются лучшие сварочно-технологические свойства, отсутствуют поры и шлаковые включения составляет 120-140А, что на 55А больше верхнего предела, установленного нормативной документацией.

Представлен экспресс-метод определения I_u для данных электродов по изменению характера переноса электродного металла и длительности коротких замыканий. Для определения величины I_u применяли регистратор сварочных процессов MPC-02м. В качестве количественных критериев оценки протекания процесса ручной дуговой сварки, использовались ха-

рактерные численные значения сигналов в период короткого замыкания – $\tau_{k,3}$ и частота коротких замыканий.

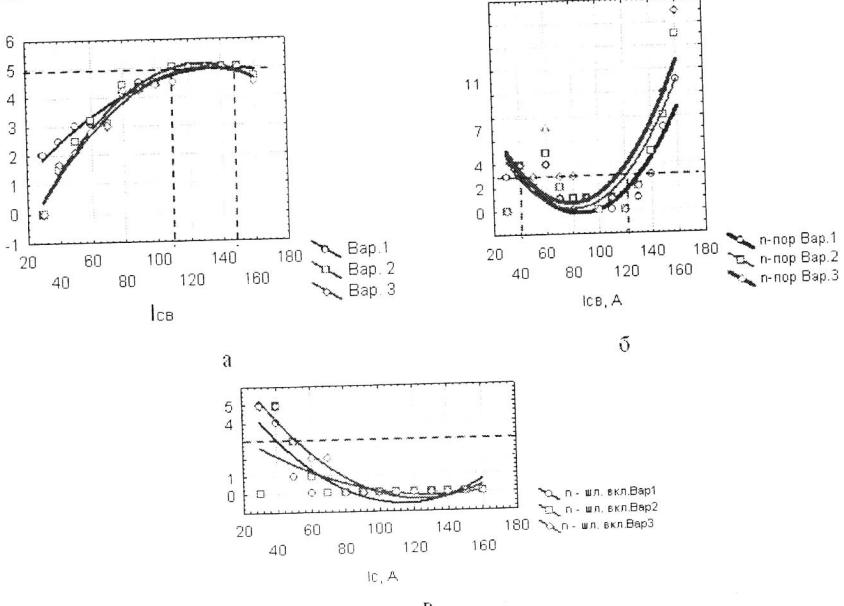


Рис. 5. Зависимости а) сварочно-технологических свойств электродов ЦУ-5; б) стойкости к образованию пор электродов ЦУ-5 в) образования шлаковых включений при сварке электродами ЦЛ-39, от изменения длины дуги $U_3 \pm 2\Delta$ и величины тока сварки – I_{cv} .

Анализ результатов представленных на рис. 5 показывает, что для данных электродов марок ЦУ-5 и ЦЛ-39 номинальным значение тока сварки I_{cv} , при котором проявляются лучшие сварочно-технологические свойства, отсутствуют поры и шлаковые включения составляет 120-140А, что на 55А больше верхнего предела, установленного нормативной документацией.

Представлен экспресс-метод определения I_n для данных электродов по изменению характера переноса электродного металла и длительности коротких замыканий. Для определения величины I_n применяли регистратор сварочных процессов MPC-02м. В качестве количественных критериев оценки протекания процесса ручной дуговой сварки, использовались характерные численные значения сигналов в период короткого замыкания – $\tau_{k,3}$ и частота коротких замыканий.

Установлено критическое значение средней длительности коротких замыканий $\tau_{k,3}$ для данных электродов при котором наблюдается «примерзание» электрода к изделию при сварке в потолочном положении, которое составляет в среднем 15 мс. На рис. 6 показан характер изменения переноса

са электродного металла (частота коротких замыканий) в зависимости от величины I_{ce} .



Рис. 6. Осциллограммы тока и напряжения при сварке электродами ЦУ-5, показывающие изменение количества коротких замыканий дугового промежутка в зависимости от величины I_{ce} .

На рис. 7 а), б) представлены осциллографмы показывающие изменение значений длительности коротких замыканий – τ_{k3} от величины тока сварки – I_{ce} .

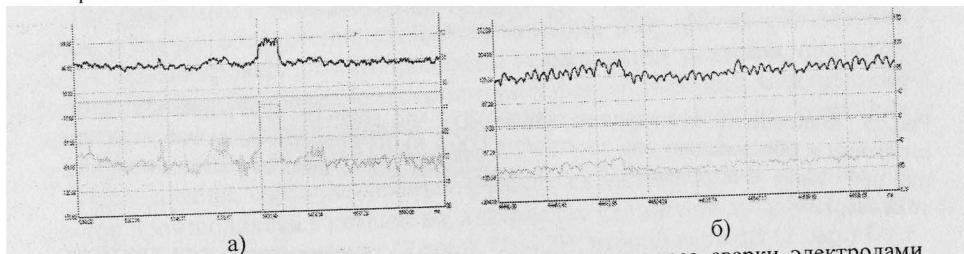


Рис. 7 а) осциллографмы тока и напряжения дуги процесса сварки электродами марки ЦУ-5 $I_{ce} = 50$ А, $\tau_{k3}=19,20$ мс; б) $I_{ce} = 140$ А короткие замыкания дугового промежутка отсутствуют

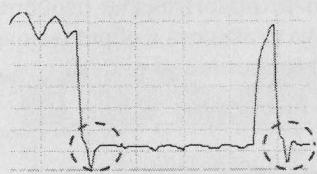
«Примерзания» данных электродов при сварке в потолочном положении будут отсутствовать при I_{ce} больше 70 А, когда длительность коротких замыканий каплей дугового промежутка в любом пространственном положении шва меньше 15 мс, что подтверждено экспериментально. Однако лучшие сварочно-технологические свойства данных электродов будут проявляться при токе сварки 120-140 А, когда короткие замыкания отсутствуют.

Приведены исследования физической устойчивости дуги и технологической устойчивости процесса РД сварки модулированным током.

Физическая устойчивость горения дуги и технологическая устойчивость процесса сварки в период основной паузы t_{on} обеспечивается дополнительными импульсами амплитудой равной I_n , частотой более 50 Гц и длительностью t_{du} 0,5 – 2 мс. Этими же мероприятиями обеспечивается устранение пульсаций светового потока. Некоторое снижение физической

устойчивости горения дуги может проявляться из-за коммутационных процессов, обусловленных электромагнитными процессами в самом модуляторе. Вследствие чего появляются кратковременные провалы в кривой тока до нуля, снижающие физическую устойчивость дуги. Осциллограмма I_{cb} , показывающая снижения физической устойчивости при сварке модулированным током в период включения тока паузы представлена на рис. 8. Исключение снижения физической устойчивости горения дуги обеспечивается схемными решениями модулятора.

Высокая технологическая устойчивость процесса обеспечивается дополнительными импульсами даже в случае короткого замыкания каплей дугового промежутка даже на интервале между дополнительными импульсами. Исследованы периоды переноса капель электродного металла, когда возможно снижение физической устойчивости горения дуги. Такое снижение возможно, когда короткое замыкание дугового промежутка каплей электродного металла происходит в период дополнительной паузы t_{on} . Такой процесс зафиксирован на осциллограмме рис. 9. Капля получила ускорение за счет энергии дополнительного импульса перед коротким замыканием. Этот факт доказывает высокую устойчивость технологического процесса при сварке в потолочном положении шва.



1 2



Рис. 8. Осциллограмма I_{cb} показывающая кратковременные провалы тока до нуля, снижающие физическую устойчивость процесса сварки непосредственно после основного импульса - 1 и дополнительного импульса - 2

Рис. 9. Представленная осциллограмма показывает, что перенос капли металла в данном процессе стабилен при токе паузы $I_n = 15A$, без непосредственного воздействия энергии дополнительного импульса во время короткого замыкания

Методика определения заданного напряжения U_3 и порогового напряжения U_n для данных электродов разрабатывалась при проведении исследований контрольных образцов стационарной дугой. Производили наплавку с контролем величины U_n , которое определялось как U_{cp} на интервале нескольких периодов каплеобразования при различных длинах дуги. За U_n принималось U_{cp} , при котором обеспечивалось лучшее формирование шва и предоставлялась возможность ведения процесса, как с $U_o \pm 2$ В без сни-

жения качества формирования шва. Увеличение и уменьшение длины дуги производилось по отметкам, хорошо видным при выполнении сварки. Длина отмеченных участков составляла 10 мм. На этих участках мобильным регистратором процессов фиксировали величину напряжения U_{cp} , время удлинения дуги - t_y и I_{cp} . Для электродов марки ЦУ-5 при $I_n = 120$ А, регистратором фиксировали U_n , которое составило 29 В.

Анализ результатов выполнялся с использованием методики И.К. Покходни, по которой определялась величина относительного удлинения дуги до появления пор, по формуле

$$\delta_n = \frac{\Delta U}{U_n} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где $\Delta U = U_n - U_{n_0}$; U_n – пороговое напряжение; U_{n_0} – пороговое напряжение, определяющее интервал равных возможностей образования и не образования пор; U_n – номинальное напряжение на дуге, которое позволяет учитывать различие в напряжении столба дуги электродов различных марок с учетом времени коротких замыканий и сопоставлять между собой результаты измерений.

Указанная методика ранее применялась для определения δ_n на обычных, рекомендованных производителем электродов значениях тока. В настоящей работе δ_n определяли при I_n . Полученный результат подтверждает, что при I_n проявляются лучшие сварочно-технологические свойства электродов. Результаты испытаний электродов на стойкость к образованию пор при различном времени удлинения дуги представлены на рис. 10.

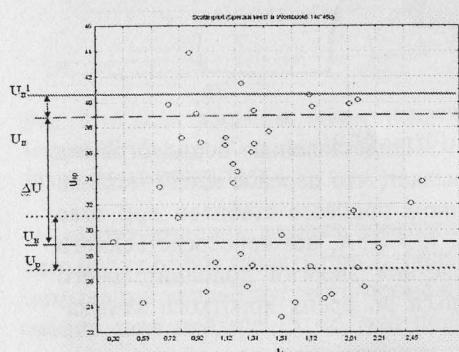


Рис.10. Определение склонности к образованию пор при удлинении дуги

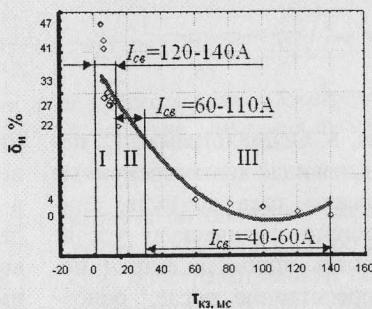


Рис.11. Взаимосвязь показателей величины относительного удлинения δ_n и длительности коротких замыканий τ_{kz} определялась при $I_{cb} = 40-60$ А (область значений III); $I_{cb} = 60-110$ А. (область значений II), $I_{cb} = 110-140$ А. (область значений I)

Результаты исследований подтверждают достоверность предложенной «экспресс» - методики (рис.7) определения I_n для данного электрода по осцилограммам, показывающим величину I_{ce} при котором изменяется характер переноса металла от крупнокапельного с короткими замыканиями к смешанному и без коротких замыканий. В результате отмечается повышение сварочно-технологических свойств и стойкость к образованию дефектов в виде пор и шлаковых включений при сварке электродами с основным покрытием.

Такую величину тока можно назвать критической для процесса РД сварки электродами с основным покрытием.

В четвертой главе «Технологические свойства сварочной дуги при модуляции тока по разработанным алгоритмам» определены при сварке модулированным током с активным управлением сварщиком тепловой мощностью дуги. Исследования проводились с использованием специальной приставки-модулятора с раздельным регулированием I_u ; t_{on} ; t_{off} ; f_{mod} ; $t_{u,mod}$; I_n и функцией активного управления сварщиком тепловой мощностью дуги изменением величины $U_o \pm 2B$ относительно $U_o = U_n$. Осциллограммы процесса сварки с активным управлением сварщиком тепловой мощностью дуги представлена на рис. 12.

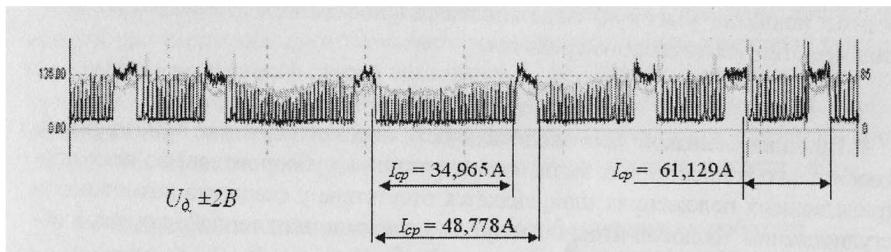


Рис. 12. Представленная осциллограмма показывает эффективность активного управления сварщиком тепловой мощностью дуги. Показано изменение I_{cp} в зависимости от t_{on} .

Результатом эксперимента являются полученные зависимости сварочно-технологических свойств, стойкости к образованию пор, шлаковых включений, химического состава металла швов наплавленных электродами марок ЦУ-5 тип Э-50А и ЦЛ-39 тип Э-09Х1МФ от величин I_u , I_{cp} . Результаты экспериментов сравнивались с результатами, полученными при сварке такими же электродами стационарной дугой. Высокое качество наплавленного металла подтверждено исследованием микроструктуры. Определено, что при увеличении длины дуги до U_n (что на 40% выше рабочего режима) при импульсном питании поры и другие дефекты не образуются, что подтверждает высокий запас надежности при сварке по разработанному в настоящей работе методу.

В пятой главе «Разработка технических средств модуляции сварочного тока с функцией активного управления сварщиком тепловой мощностью сварочной дуги» сформулированы требования к техническим средствам реализации процесса сварки модулированным током с активным управлением тепловой мощностью сварочной дуги.

В соответствии со сформулированными требованиями разработана функциональная схема тиристорного модулятора импульсов сварочного тока, предназначенная для работы со сварочными источниками постоянного тока любого типа, обеспечивающая управление технологическим процессом по любому из алгоритмов, представленных в главе 3.

Разработана принципиальная электрическая схема модулятора импульсов сварочного тока, работающего по замкнутому циклу. Разработана принципиальная электрическая схема силовой части модулятора.

Выполнен расчет и выбор параметров элементов коммутирующего контура модулятора импульсов сварочного тока.

Выполненные в период подготовки настоящей работы исследования технологического процесса сварки модулированным током с активным управлением сварщиков тепловой мощностью дуги в сварочной лаборатории Томского государственного политехнического университета и производственных работ выполненных на предприятиях ОАО «Кузбассэнерго» показали высокую надежность разработанного и внедренного в производство технического средства.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ:

1. Причинами низкой производительности и низкого качества при РД сварке относительно тонкостенных металлоконструкций (трубопроводов) во всех пространственных положениях шва, является отсутствие у сварщика возможности регулирования тепловой мощности дуги в зависимости от теплофизической обстановки в зоне сварки без прерывания горения дуги.

2. Теоретически и экспериментально доказано, что одной из основных сил, определяющих характер переноса электродного металла при РД сварке, является сила давления газов, образующихся при разложении газообразующих компонентов покрытия.

3. Установлено, что характер переноса металла, (крупнокапельный или мелкокапельный) определяется геометрией втулочки покрытия на торце электрода, которая в свою очередь, зависит от тугоплавкости покрытия.

4. Разработана модель переноса электродного металла при импульсном питании дуги, позволяющая создать эффективные методы управления переносом электродного металла в сварочную ванну в зависимости от параметров импульсов при сварке электродами с основным покрытием.

5. Режимы, указанные в нормативной документации для РД сварки не позволяют использовать в полной мере сварочно-технологические свойства электродов с основным покрытием.

6. Сравнение сварочно-технологических свойств, стойкости к образованию пор и шлаковых включений металла наплавленного на режимах установленных нормативной документацией и режимах номинального тока I_n , предложенного в настоящей работе показало, что сварочно-технологические свойства при I_n выше не менее чем на 30%, максимальная стойкость против образования пор и шлаковых включений проявляется на режимах выше верхнего (85А для электродов марки ЦУ-5) предела тока сварки, установленного нормативной документацией.

7. Содержание легирующих элементов в металле, наплавленном электродами типа Э-09Х1МФ на $I_n = I_u$ выше на (C – 0,015%, Si – 0,12%, Mn – 0,2%, V – 0,05%), при одинаковых значениях среднего тока – I_{cp} и тока стационарной дуги – I_{cr} . Содержание Cr и Mo при сварке модулированным током зависит от величины I_u и не зависит от величины I_{cp} .

8. Частота вспомогательных импульсов $f_{u,om}$ более 50Гц устраниет вредное воздействие на зрительную функцию сварщика пульсаций светового потока и одновременно обеспечивает высокую физическую устойчивость дуги и технологическую устойчивость процесса сварки в период основной паузы – t_{or} .

9. I_u следует выбирать по минимальному значению, при котором происходит перенос металла без коротких замыканий. Увеличение значения номинального тока приведет к увеличению I_{cp} , увеличению массы сварочной ванны и снизит технологические возможности способа сварки модулированным током.

10. Разработанные методы определения I_u и активного управления тепловой мощностью сварочной дуги позволяют регулировать объем сварочной ванны без прерывания процесса сварки снижением I_{cp} до 30А без снижения технологической устойчивости процесса (электродами марки ЦУ-5 диаметром 2,5 мм), что позволяет повысить качество и производительность труда сварщика при сварке в условиях монтажа, ремонта и реконструкции технических устройств.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. Князьков А. Ф., Князьков В. Л., Князьков С. А. Влияние параметров режимов сварки модулированным током на химический состав металла, наплавленного электродами типа Э-09Х1МФ // Вестник КузГТУ, 2006. № 1.- С. 84 – 87.
2. Князьков А. Ф., Князьков В. Л., Князьков С. А. Оптимизация сварочно-технологических свойств электродов с покрытием // Сварщик профессионал, 2005. № 6.- С.10 – 12.
3. Смирнов А. Н., Князьков В. Л., Макаров Н. М., Удалов В. Ф., Яшинин В. Б., Урусов В. А. Опыт ремонта барабана из специальной молибденовой стали котлоагрегата ПК-10 // Электрические станции, 2003. № 6.
4. Крампит А.Г., Князьков А.Ф., Князьков С.А., Крампит Н.Ю., Князьков В.Л. Устройство для импульсно-дуговой сварки. Ремонт, восстановление, модернизация, № 6. 2004.
5. Смирнов А.Н., Муравьев В.В., Князьков В.Л., Макаров Н.М., Применение акустических методов для контроля микроструктуры и прочности теплоустойчивых сталей // Вестник КузГТУ, 2003.- № 4. – С. 37 – 41.

6. Патент на изобретение (RU) № 2268809 Способ электродуговой сварки плавящимся электродом с импульсной модуляцией тока / Князьков А.Ф., Князьков С.А., Князьков В.Л. Опубликовано: 27.01.2006. Бюл. № 03.
7. Патент на изобретение (RU) № 2175596 от 10.11.2001 / Князьков А. Ф., Крампит Н. Ю., Крампит А. Г., Князьков С. А., Князьков В. Л. Устройство для сварки.
8. Князьков А. Ф., Князьков В. Л., Князьков С.А. Ручная дуговая сварка модулированным током электродами с покрытием. Сб. тр. XI международной научно-практической конференции «Современные техника и технологии СТТ - 2005» 28.03-01.04. 2005.- Томск.
9. Особенности ручной дуговой сварки модулированным током. Сб. тр. Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Князьков В.Л., Князьков С.А.– Томск, 2003.- С. 30.
10. Князьков В.Л., Князьков С.А. Применение сварки модулированным током при монтаже и ремонте труб поверхностей нагрева котлоагрегатов / Сб. тр. Международной научно-практической конференции «Сварка, контроль, реновация» .- Уфа, 2003.- С. 69-70.
11. Ремонт оборудования тепловых электростанций с применением сварки модулированным током электродами с покрытием / Сб. тр. Всероссийской научно-практической конференции «Прогрессивные технологии и экономика в машиностроении». -Юрга, 2003.- С. 39-40.