

**РАЗРАБОТКА И ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ АДАПТИВНЫХ ИМПУЛЬСНО-
ДУГОВЫХ МЕТОДОВ СВАРКИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ И РЕМОНТЕ
МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ОТВЕТСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Ю.Н. Сараев, д.т.н., в.н.с., В.А. Лебедев, д.т.н., гл. конструктор, С.А. Солодский, к.т.н., доцент**
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики прочности и ма-
териаловедения Сибирского отделения Российской академии наук (ИФПМСО РАН),*

634021, г. Томск, пр. Академический, 2/4, e-mail: litsin@ispms.tsc.ru;

**Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины,*

Украина, 03680, г. Киев, ул. Боженко, 11, e-mail:office@kiev.ua;

*** Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета*

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, e-mail:serdgi080@inbox.ru

1. Введение

Эксплуатационная надежность высокоответственных сварных конструкций непосредственно связана со стабильностью энергетических параметров технологических процессов их получения. Вместе с тем, наличие большого количества возмущающих факторов (повышенные и меняющиеся зазоры, изменяющееся пространственное положение сварочной ванны, ступенчатое изменение вылета электрода и др.) существенно затрудняют формирование бездефектных сварных соединений. Одним из путей снижения зависимости стабильности технологических процессов от возмущающих факторов является применение импульсных технологий. Однако данное направление не всегда дает желаемый результат, поскольку в процессе сварки не ведется активный контроль за возмущающими воздействиями в сложной электродинамической системе источник питания – дуга – сварочная ванна – изделие.

Более широкие возможности в обеспечении качественных и эксплуатационных показателей высокоответственных сварных соединений представляют адаптивные импульсные технологии сварки и наплавки. Суть данного подхода заключается в адаптивном контроле за изменениями энергетических параметров технологического процесса по их мгновенным значениям: тока дуги, напряжения, энергии, затраченной на плавление и перенос каждой капли электродного металла. Благодаря наличию обратных связей в такой электродинамической системе обеспечивается полный контроль за стабильностью тепловых и энергетических параметров процесса, а также характеристиками массопереноса электродного металла, что обеспечивает получение требуемых эксплуатационных показателей [1, 2, 3].

2. Предпосылки и средства для решения проблемы

Адаптивные импульсные технологические (АРТ – adaptive pulse technology) процессы сварки обеспечивают программируемый ввод теплоты в зону сварного соединения, управление процессами плавления и капельного переноса электродного металла, управление формированием структуры шва и ЗТВ, уменьшение степени остаточных деформаций в сварных соединениях при одновременном обеспечении стабильности импульсного режима сварки в различных пространственных положениях [3]. В отличие от известных процессов дуговой сварки, в том числе импульсных, которые используют алгоритмы управления по жестко задаваемой программе, адаптивные импульсные процессы позволяют корректировать режимы на уровне их мгновенных значений основных энергетических параметров сварочного процесса в зависимости от состояния объекта управления «источник питания – дуга – сварочная ванна» [2].

3. Решение рассматриваемой проблемы

Практическая реализация данного подхода связана с необходимостью решения ряда сложных технологических и электротехнических задач [4]. Для решения первой группы задач – управления каплеобразованием, переносом электродного металла, кристаллизацией сварочной ванны – в сварочное оборудование вводят каналы обратных связей, по которым обеспечивается контроль за изменением основных показателей процесса – напряжением дуги, сварочного тока, мгновенной мощности сварочной дуги [4]. Для решения второй группы задач (электротехнических), необходимо использование в комплекте сварочного оборудования специальных силовоточных импульсных коммутаторов сварочного тока, как правило, малоинерционных, с удовлетворительными массогабаритными показателями и надежных в работе [2].

Удовлетворить перечисленным требованиям оказывается весьма сложно, поскольку это связано с коммутацией больших импульсных мощностей (до 50 кВт и более) на интервалах в единицы микросекунд. В качестве примера практической реализации выше сформулированного подхода, рассмотрим способы механизированной сварки в среде CO₂, Ar и газовых смесях на их основе с управ-

ляемым и неуправляемым переносом электродного металла проволоками сплошного сечения и порошковыми, созданных в России для сварки магистральных нефте- и газопроводов в 70-х годах XX столетия. Многие из ниже представленных методов сварки легли в основу многочисленных способов дуговой сварки, которые сегодня известны в мировой практике как STT, SMT [5,6] и другие [7].

На рис.1 приведены осциллограммы тока и напряжения дуги, а также кинограммы сварочного микроцикла адаптивного импульсного процесса сварки в среде CO_2 проволокой сплошного сечения типа Св08Г2С, диаметром 1,2мм.

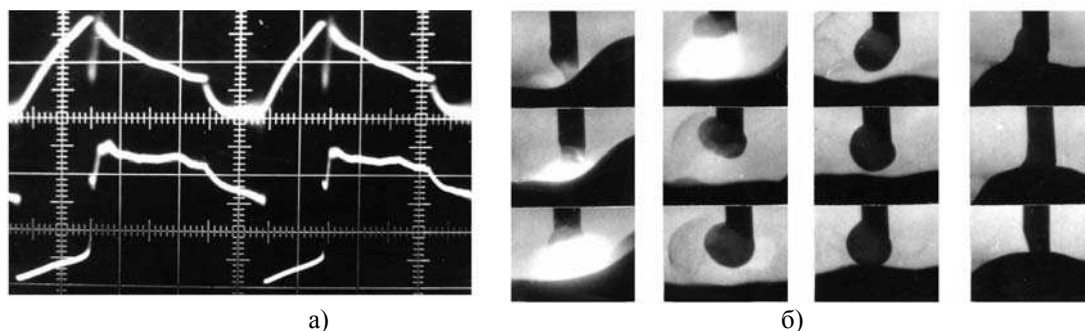


Рис. 1. Осциллограммы тока и напряжения дуги адаптивного импульсного процесса сварки в CO_2 проволокой сплошного сечения с переносом металла во время принудительных коротких замыканий дугового промежутка (а) и кинокадры сварочного микроцикла (б)

На рис.2 приведены осциллограммы тока и напряжения дуги адаптивного импульсного процесса сварки в смеси газов $\text{Ar} + \text{CO}_2$ порошковой проволокой. На рис.3 приведены кинограммы сварочного микроцикла, адаптивного импульсного процесса сварки порошковой проволокой в смеси газов $\text{Ar} + \text{CO}_2$ с переносом металла без коротких замыканий дугового промежутка. При этом на протяжении всего процесса сварки через каналы обратных связей осуществлялся контроль за состоянием дугового промежутка по мгновенным значениям технологических параметров.

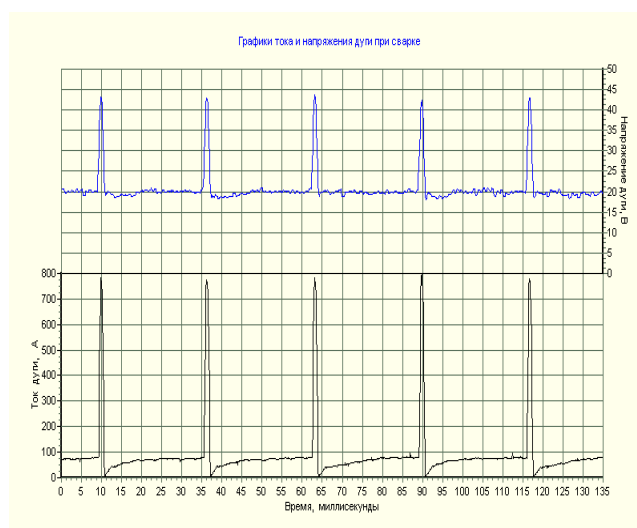


Рис. 2. Осциллограммы напряжения и тока дуги адаптивного импульсного процесса сварки порошковой проволокой в смеси газов $\text{Ar} + \text{CO}_2$ с переносом металла без коротких замыканий дугового промежутка

4. Результаты и дискуссия

Известны способы сварки [8, 9, 10, 11], которые кроме общепринятых показателей характеризуются дополнительными, а именно: периодом повторения микроциклов; паузой в протекании сварочного тока к моменту разрыва перемычки: длительностью импульса (плавление электрода); паузой в протекании сварочного тока перед коротким замыканием; пиковым значением тока корот-

кого замыкания; током паузы, а также при сварке с переносом электродного металла без коротких замыканий дугового промежутка (рис. 2 и 3): длительностью и амплитудным значением тока импульса для отрыва капли электродного металла; длительностью и величиной тока паузы.

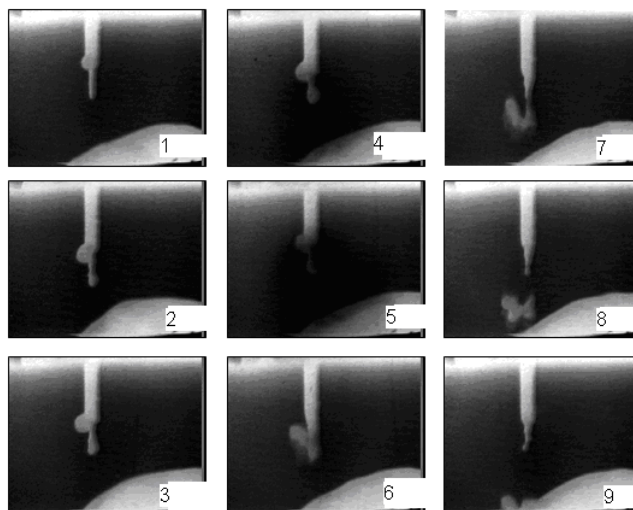


Рис. 3. Кинокадры сварочного микроцикла адаптивного импульсного процесса сварки порошковой проволокой в смеси газов $Ar + CO_2$ с переносом металла без коротких замыканий дугового промежутка (последовательность кадров в пределах одного микроцикла 1 – 9)

Механизм каплеобразования и переноса электродного металла в сварочную ванну на примере базового способа сварки [8], при котором перенос электродного металла осуществляется во время принудительных коротких замыканий, можно представить следующим образом. На интервале горения дуги в импульсе происходит интенсивное расплавление торца электрода и свариваемой детали. При этом вследствие силового воздействия дуги, металл сварочной ванны вытесняется в хвостовую часть и удерживается там, в течение всей стадии плавления. По истечении заданного времени горения дуги в импульсе производят ступенчатое уменьшение сварочного тока до уровня значения тока паузы. Это приводит к соответствующему снижению скорости плавления электрода и ослаблению силового воздействия дуги на сварочную ванну, которая стремится в этот момент заполнить кратер, образовавшийся под торцом электрода на стадии действия импульса тока. Одновременно с этим вследствие уменьшения сил реактивного давления паров испаряющегося металла, в основном благодаря действию силы тяжести и силы поверхностного натяжения, капля электродного металла стремится занять соосное с электродом положение.

В результате встречных, взаимонаправленных движений, происходит принудительное короткое замыкание, в начальный момент которого в сварочной цепи производят увеличение тока. Ток нарастает по экспоненте, определяемой в основном индуктивным сопротивлением сглаживающего дросселя. При таком механизме переноса электродного металла образование устойчивой перемычки между электродом и сварочной ванной достигается в первой фазе короткого замыкания, что позволяет значительно повысить скорость нарастания тока короткого замыкания и тем самым ускорить образование и разрушение жидкой перемычки.

Интервал короткого замыкания сопровождается увеличением падения напряжения на перемычке и при лавинообразном его росте, что свидетельствует о необратимости разрушения перемычки, производят ступенчатое уменьшение тока. Следует заметить, что в отличие от не совсем точной трактовки зарубежных исследователей, создавших так называемый «процесс STT» – процесс с переносом электродного металла за счет сил поверхностного натяжения [5], на протяжении всего интервала короткого замыкания решающее значение для ускорения разрушения перемычки имеет электродинамическая сила, которая стремится «пережать» электрод по линии расплавления, оторвать каплю электродного металла и придать ей ускоряющую «импульс-силу» для перемещения в направлении сварочной ванны. И только последняя стадия разрушения перемычки (примерно за 10^{-4} с до момента повторного возбуждения дуги) сопровождается превалирующим значением силы поверхностного натяжения над другими силами. Однако вследствие малого времени существования данного

интервала, ее вклад в разрушение жидкой перемычки ничтожно мал. Перемычка разрушается при небольшом токе паузы. Длительность паузы может устанавливаться либо параметрически, либо в зависимости от состояния дугового промежутка на данной стадии. По окончании длительности паузы ток увеличивают и осуществляют плавление электрода на интервале импульса тока. Далее процессы протекают аналогично описанным выше. Изложенный механизм управляемого переноса электродного металла в сварочную ванну сохраняется и при реализации других адаптивных алгоритмов импульсного управления энергетическими параметрами процесса. Отличие состоит лишь в том, что возмущающие воздействия, вызываемые капельным переносом электродного металла и обусловливаемые особенностями формирования металла шва в различных пространственных положениях, отрабатываются на разных этапах сварочного микроцикла в зависимости от длительности паузы перед коротким замыканием, что свидетельствует о подвижности сварочной ванны при изменении её пространственного положения [4].

На рис.4 приведен фрагмент вертикальной сварки сверху вниз планок судовых конструкций. Вследствие высокой проплавливающей способности дуги в импульсе с обратной стороны наблюдается свечение проникающей дуги, (см. рис.4, а), которая обеспечивает гарантированное оплавление кромок свариваемых пластин. При этом за счет наличия тока паузы поддерживается средний энергетический режим, способствующий бездефектному формированию сварочного шва независимо от его пространственного положения (рис.4, б). При этом скорость сварки достигает 20-30 м/ч, в то время как при сварке снизу вверх – не более 5-7 м/ч. Характерные для сварки сверху вниз непровары, образующиеся за счет натекаания сварочной ванны, при традиционных способах сварки в CO_2 , полностью отсутствуют. Данное обстоятельство свидетельствует о хорошем резерве для увеличения производительности дуговой сварки в среде CO_2 , что может существенно повлиять на увеличение темпа сварочно-монтажных работ высокоответственных конструкций при одновременном обеспечении требуемых качественных и прочностных характеристик сварных соединений.



Рис. 4. Фрагмент вертикальной адаптивной импульсно-дуговой сварки корневого шва способом сверху – вниз судовых конструкций в CO_2 с переносом электродного металла во время принудительных коротких замыканий дугового промежутка (а) и внешний вид корневого шва с обратной стороны (б)

Сварка в среде CO_2 с переносом электродного металла во время принудительных замыканий дугового промежутка обеспечивает хорошие результаты при формировании корневых и облицовочных слоев шва. При заполнении, особенно щелевой разделки, сварка короткой дугой менее эффективна из-за вероятных несплавлений по свариваемым кромкам. Увеличение же напряжения дуги приводит к уменьшению частоты коротких замыканий и резкому увеличению размеров переносимых капель.

При сварке длинной дугой, напряжение на дуге значительно больше, по сравнению со сваркой короткой дугой. Большее значение напряжения дуги обеспечивает хорошее сплавление металла шва со стенками разделки. В настоящее время для этих целей разработано большое количество порошковых проволок как самозащитных, так и требующих дополнительной защиты аргоном, углекислым газом либо смесью на их основе. Характер плавления и управляемого переноса металла при этом показан на рис.3.

Технологическая проверка способов АРТ, обеспечивающих управление переносом электродного металла в различных пространственных положениях, показала, что основные технологические параметры процесса стабилизируются и практически остаются постоянными при изменении пространственного положения сварочной ванны.

Так, например, при сварке неповоротных стыков труб диаметром 1220-1420 мм без управления переносом капель электродного металла частота коротких замыканий (параметр, характеризующий постоянство сварочных микроциклов) при переходе от нижнего к потолочному положению уменьшается почти в 2 раза при сохранении постоянными скоростей сварки и подачи электрода, вылета, напряжения холостого хода источника питания. При таких же условиях в стабилизированном процессе благодаря применению соответствующего адаптивного импульсного алгоритма управления переносом электродного металла частота коротких замыканий практически не изменяется. Это обеспечивает минимальное разбрызгивание электродного металла (2-3%) и благоприятно сказывается на формировании сварного шва. При этом изменение вылета электрода, часто возникающее при механизированной сварке, легко может быть компенсировано изменением длительности импульса тока (горения дуги), осуществляемым автоматически по каналам обратной связи. Менее чувствительны рассматриваемые процессы и к другим возмущающим воздействиям: изменениям напряжения питающей сети и скорости подачи электрода, мгновенной мощности дуги и энергии, идущей на плавление каждой капли электродного металла.

Оценивая технологические характеристики оборудования для питания дуги (стандартный сварочный выпрямитель и специальный тиристорный регулятор), можно отметить, что при применении управляемых процессов дуговой сварки появляется возможность отказаться от необходимости регулировать выходное напряжение источника питания, так как поддержание требуемого значения напряжения дуги при изменении скорости подачи электрода можно обеспечивать, используя длительность импульса тока (горения дуги). Появляется возможность отказаться от традиционных сглаживающих дросселей на стадии короткого замыкания. Это позволяет на 30-40% сократить длительность коротких замыканий, что значительно повышает эффективность процесса, делает его менее чувствительным к действию возмущающих факторов на стадии переноса электродного металла в сварочную ванну.

Перечисленные виды переноса электродного металла эффективны для управления переносом каждой капли электродного металла при сварке плавящимся электродом в среде защитных, как инертных газов – аргон, гелий, так и активных газов, таких как CO_2 или газовых смесей на основе аргона с добавлением CO_2 . Однако управление плавлением и переносом электродного металла позволяет решить задачу стабилизации характеристик массопереноса при механизированных способах сварки во всех пространственных положениях, но не обеспечивает управления формированием металла шва из расплава, для чего требуется применение низкой частоты изменения энергетических параметров режима, из-за значительной теплоинерционности сварочной ванны. Обычно, для этого необходима низкочастотная модуляция сварочного тока в частотном диапазоне 0,25 – 5 Гц.

Технологический процесс импульсно-дуговой сварки в указанном диапазоне, называют процессом сварки пульсирующей дугой или модулированным током. Такой процесс, как правило, предполагает периодическое изменение выходной мощности в системе питания, чередуя высокий (импульс) и низкий (пауза) уровни. В периоды импульсов тока расплавляется основная часть электродного и свариваемого металлов, в последующие периоды паузы происходит кристаллизация большей части сварочной ванны [12,13].

Указанный диапазон соизмерим с теплоинерционностью сварочной ванны, что позволяет периодически изменять тепловой поток, вводимый в металл, и тем самым регулировать во время сварки процесс проплавления основного металла и формирования шва. В современных системах питания инверторного типа низкочастотная модуляция его выходной мощности может быть реализована путем изменения тактовой частоты полупроводникового преобразователя методами частотно-импульсной модуляции, либо применением алгоритмов управления, реализуемых методами широтно-импульсной модуляции.

Импульсно-дуговая сварка на различных частотных диапазонах может быть реализована, как при сварке неплавящимся электродом, так и при сварке плавящимся электродом. При импульсно-дуговой сварке неплавящимся электродом, пульсирующий режим работы выбирают, либо для поддержания стабильного горения малоамперной дуги (частотный диапазон 5000 – 300 Гц), либо для обеспечения пульсирующего теплового потока, необходимого при сварке тонколистового металла (частотный диапазон 0,25 – 5 Гц). В отдельных случаях может быть реализована комбинация двух вышеобозначенных частотных диапазонов.

При импульсно-дуговой сварке плавящимся электродом реализация пульсирующего режима работы системы питания представляет собой наиболее сложную техническую задачу, поскольку это сопряжено с необходимостью учета капельного переноса электродного металла в сварочную ванну

(частотный диапазон 300 – 25 Гц) и одновременного управления формированием металла шва из расплава (частотный диапазон 0,25 – 5 Гц). Для обеспечения возможности совмещения двух частотных диапазонов при реализации технологического процесса, требуется синхронная работа источника питания и подающего механизма.

Применение разработанных технологий и оборудования позволяет не только увеличить производительность сварочно-монтажных работ, усовершенствовать технику выполнения сварных швов в различных пространственных положениях, гарантировать высокое качество сварных соединений, снизить затраты на строительство и ремонт, но и отказаться от закупки дорогостоящих специальных электродов, электродных материалов и сварочного оборудования.

Для определения качественных и эксплуатационных характеристик сварных соединений, получаемых методами адаптивных импульсных технологий сварки и наплавки, были проведены сравнительные исследования по оценке их свойств, получаемых на стационарных режимах [14, 15, 16].

Таким образом, рассмотренные методы АРТ благодаря стабильности энергетических параметров режимов при сварке в различных пространственных положениях, обеспечению возможности программируемого ввода тепла в зону сварного соединения, управления процессами плавления и переноса каждой капли электродного металла, формирования мелкодисперсной структуры металла шва и зоны термического влияния, способствуют уменьшению степени остаточных деформаций сварных соединений, что существенно повышает их эксплуатационные показатели.

В отличие от известных в мировой практике процессов дуговой сварки, в том числе и импульсных, использующих алгоритмы управления по жёстко заданной программе, методы АРТ позволяют корректировать, выбранный алгоритм через каналы обратных связей по мгновенным значениям основных энергетических параметров сварочного процесса в зависимости от состояния объекта управления: источник питания – дуга – изделие. Отмеченные достоинства могут быть эффективно использованы при разработке различных роботизированных технологических процессов, реализуемых при помощи адаптивных систем автоматического управления на базе ЭВМ и микропроцессоров общего назначения, в том числе при создании различных гибридных технологий.

5. Выводы

1. В России создано и успешно развивается перспективное направление по разработке и практическому применению методов АРТ, которые позволяют обеспечить стабильность тепловых и энергетических характеристик в ходе технологических процессов сварки и наплавки, а также характеристик массопереноса, которые определяют структурные, прочностные и эксплуатационные свойства неразъемных соединений, а, следовательно, эксплуатационную надежность металлоконструкций ответственного назначения.

2. Применение методов АРТ позволяет обеспечить:

- управление процессами плавления и переноса каждой капли расплавленного электродного металла, создание благоприятных условий ее перехода в сварочную ванну, снижение (на 10-15 %) разбрызгивания электродного металла, обеспечение возможности управления жидкотекучестью и кристаллизацией металла сварочной ванны независимо от её пространственного положения;
- управление параметрами и проплавляющей способностью дуги, а также формированием сварного шва заданной геометрии;
- повышение качественных характеристик и прочностных свойств сварного соединения, что достигается улучшением структуры металла шва и зоны термического влияния (ЗТВ), а также уменьшением количества пор благодаря интенсивной дегазации и перемешивания металла сварочной ванны.

Такой подход является оригинальным и не имеет аналогов в мировой практике.

3. Дальнейшее проведение фундаментальных и ориентированных исследований, направленных на повышение прочностных и эксплуатационных свойств изделий и конструкций со сварными соединениями для работы в различных климатических условиях, в том числе условиях с холодного климата северных регионов, представляет собой актуальную научно-техническую задачу, от решения которой всецело зависит дальнейшее развитие мирового промышленного производства.

Работа выполнена при финансовой поддержке ДФФД, Украина и РФФИ, Россия в 2013 году в рамках российско-украинских научных проектов 2013 года: проект № 13-08-90406 Укр_ф_а и № Ф53.7/006.

Литература.

1. Патон Б.Е. Современные направления исследований и разработок в области сварки и прочности конструкций // Автоматическая сварка. - 2003. Октябрь – ноябрь. - с. 7 – 13.
2. Сараев Ю.Н. Импульсные технологические процессы сварки и наплавки. Новосибирск: ВО Наука. 1994. 107 с.
3. Сараев Ю.Н. Адаптивные импульсно- дуговые методы механизированной сварки при строительстве магистральных трубопроводов // Сварочное производство. 2002. № 1. С.4-11.
4. Сараев Ю.Н. Управление переносом электродного металла при дуговой сварке с короткими замыканиями дугового промежутка // Автомат, сварка. – 1988. – № 12. – С. 16 – 23.
5. Квасов Ф.В. Особенности механизированной сварки с управляемым переносом электродного металла // Сварочное производство. 1999. № 8. С.27-31.
6. Арктическая премьера СМТ процесса / Новый дуговой сварочный процесс с переносом металла с короткими замыканиями впервые используется при строительстве трубопроводов // Автоматическая сварка. – 2010. - № 2. – с. 52 – 53.
7. У. Дилтай, Л. Штайн, К. Весте, Ф. Райх. Состояние и перспективы применения высокоэффективных сварочных технологий // Автоматическая сварка. - 2003. № 10 – 11. - С. 151 – 157.
8. А. с. № 768108 (СССР) Способ электродуговой сварки с короткими замыканиями дугового промежутка / Князьков А.Ф., Сараев Ю.Н., Дедюх Р.И. - Приоритет от 5 июля 1978 г.
9. А.с. № 951810 (СССР) Способ дуговой сварки плавящимся электродом / Князьков А.Ф., Сараев Ю.Н., Тимошенко А.К. - Приоритет от 28 февраля 1979 г.
10. А.с. № 930824 (СССР) Способ и устройство для дуговой сварки с короткими замыканиями дугового промежутка / Князьков А.Ф., Мазель А.Г., Дедюх Р.И., Сараев Ю.Н., Азаров Н.А. - Приоритет от 16 апреля 1980 г.
11. А.С. № 1168367 (СССР) Способ и устройство для электродуговой сварки с короткими замыканиями дугового промежутка / Князьков А.Ф., Сараев Ю.Н., Тимошенко А.К., Шейнкин М.З., Панибратцев Б.К. - Приоритет от 17 февраля 1984 г.
12. Заруба И.И., Лебедев В.К., Шейко П.П. и др. Сварка модулированным током // Автоматическая сварка. – 1968. – № 11. – С. 35 – 40.
13. Вагнер Ф.А. Оборудование и способы сварки пульсирующей дугой.– М.: Энергия, 1980.–117 с.
14. Сараев Ю.Н., Макарова Л.И., Екимов В.С. и др. Пути повышения эффективности строительства, эксплуатации и ремонта нефтегазопромыслового оборудования и магистральных трубопроводов на основе адаптивных импульсных технологий сварки и наплавки // Сварочное производство. 2001. № 5. С.31-37.
15. Сараев Ю.Н., Безбородов В.П., Полетика И.М., Тютев А.В., Никонова И.В., Кирилова Н.В., Севастьянов С.П. Улучшение структуры и свойств сварных соединений труб большого диаметра из низколегированной стали при импульсно-дуговой сварке // Автоматическая сварка. - 2004. - № 12. - С. 34-38.
16. Сараев Ю.Н., Слепцов О.И., Безбородов В.П., Никонова И.В., Тютев А.В. Анализ усталостного разрушения, структура и свойства сварных соединений трубопроводов, эксплуатируемых в условиях Сибири и Крайнего Севера // Монтажные и специальные работы в строительстве. - 2005. - №8. - С.18-22.

УСТАНОВЛЕНИЕ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ МЕЖДУ АКУСТИЧЕСКИМИ И МАГНИТНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ МЕТАЛЛА РАЗРУШЕННОГО РОТОРА ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ И РЕЗУЛЬТАТАМИ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ

*А.Н. Смирнов, д.т.н., проф., Н.В. Абабков, к.т.н., доц., Н.В. Быкова, ст. преп.
Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева
650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, тел. (384-2) 36-90-52
E-mail: n.ababkov@rambler.ru*

На одном из предприятий ОАО «ЕВРАЗ» произошло аварийное разрушения ротора паровой турбины №2 ПВС ОАО «ЗСМК» после 194 тыс. часов эксплуатации. Разрушение произошло в направлении, перпендикулярном оси ротора. В качестве объекта исследования был рассмотрен фрагмент разрушенного ротора паровой турбины высокого давления в виде диска шириной 50 мм, включающий с одной стороны поверхность излома (рис. 1). Разрушение произошло между 15 и 16 ступенями.