

МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ИМПУЛЬСНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ СВАРКИ И НАПЛАВКИ

А.Ф. Князьков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, Томск

Несмотря на то, что со дня великого русского изобретения – электрической дуговой сварки (1881, Н.Н. Бенардос) прошло немногим более 100 лет, сварка и родственные технологии стали одними из наиболее распространенных технологий современной цивилизации, которые и впредь будут интенсивно развиваться, обеспечивая решение множества сложнейших технических проблем.

К таким технологиям относятся и процессы электродуговой сварки и наплавки. Уже в конце 70-х годов прошлого столетия стало ясно, что традиционные методы сварки, разработанные к тому времени, исчерпали свои возможности по повышению эффективности и одним из перспективных направлений совершенствования процессов электродуговой сварки и наплавки является импульсное управление этими процессами, которое получило развитие в ИЭС им. Е.О. Потона и во ВНИИЭСО.

Сущность этого направления в следующем.

Процесс электродуговой сварки и наплавки представляет сложный объект управления. Основной проблемой при управлении такими объектами является отсутствие прямых методов контроля выходных параметров в процессе сварки. Выходом в данной ситуации является построение главных обратных связей по контролю параметров внутреннего состояния объекта (ток и напряжение дугового промежутка), которые функционально связаны с выходными регулируемыми величинами (рис. 1).

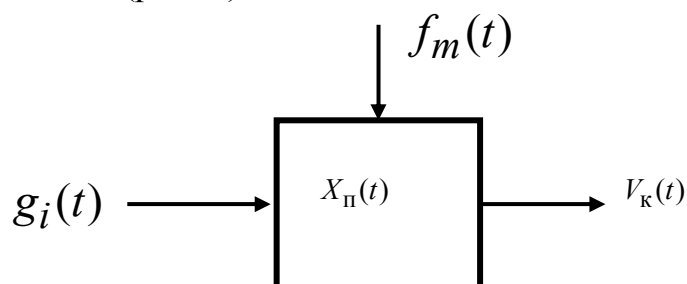


Рис. 1. Процесс сварки как объект управления: $V_к(t)$ – выходные регулируемые параметры: геометрия шва, структура металла шва и зоны термического влияния, химический состав металла шва; $X_п(t)$ – параметры внутреннего состояния объекта; $g_i(t)$ – управляющие воздействия: U_0 – напряжение холостого хода сварочного источника; $V_п$ – скорость подачи электрода; $l_в$ – вылет электрода и др.; $f_m(t)$ – возмущающие воздействия.

Другая проблема определяется неповторимостью параметров объекта, которые зависят от материала, массы, теплофизических свойств материала, геометрии и т.д.

Третья проблема определяется действующими возмущениями, часть из которых можно скомпенсировать организационными мероприятиями, но такое, как изменение пространственного положения сварочной ванны или установочное изменение режима перед сваркой, требует геометрической и технологической адаптации.

При кажущейся непрерывности процесса внутри объекта – процесса сварки – имеют дискретный характер: это и капельный перенос электродного металла, и дискретная кристаллизация сварочной ванны и др.

Системы непрерывного действия не позволяют управлять этими процессами, т.к. они осуществляют контроль за состоянием объекта со средним значением контролируемых параметров и мгновенные значения остаются вне их видимости.

Методы и системы управления, разрабатываемые по данному направлению, направлены на дискретное управление микропроцессами по мгновенным значениям параметров, с целью получения качественного сварного соединения.

Все процессы сварки можно разделить на две группы: для сварки плавящимся электродом и неплавящимся электродом [1, 2]. При любом процессе электродуговой сварки сварочную дугу принято представлять как рабочий инструмент, состоящий из трех источников энергии: анодного, катодного и столба дуги. В процессе сварки плавящимся электродом на каплю, находящуюся на торце электрода, действуют силы:

- тяжести;
- поверхностного натяжения;
- электромагнитного происхождения;
- теплового происхождения.

На сварочную ванну действуют силы:

- веса жидкого металла;
- поверхностного натяжения;
- механического воздействия, являющиеся суммой сил: газокINETической, электромагнитной, действующей в дуге, электромагнитной, действующей в сварочной ванне, силы реактивного давления паров и газов, а при сварке плавящимся электродом – удары капель по сварочной ванне.

До настоящего времени разработаны отдельные модели различных явлений, протекающих в дуговых процессах, но нет общей математической модели процесса, увязывающей все многообразие отдельных моделей и явлений в одну общую математическую модель.

В соответствии с целями и задачами направления, вытекающими из названия, на основании общего подхода при сварке плавящимся электродом, независимо от способа сварки разработаны дискретные ячейки процесса. Каждая ячейка представляет импульс энергии, при котором происходит

расплавление одной или нескольких капель при номинальных для этого электрода параметрах режима и переход их в сварочную ванну в любом пространственном положении (перенос электродного металла, хим. Состав, отсутствие дефектов, формирование шва, механические свойства, стойкость и др.)

Поскольку электрод обладает незначительной тепловой инерцией по сравнению с изделием, то плавление электрода происходит мгновенными значениями сварочного тока, и плавление изделия и образование сварочной ванны осуществляется средним значением тока. Это позволяет плавить электрод только импульсами (во время дискретных ячеек) и всегда при номинальных значениях параметров режима для данного электрода, а изделие средним током – набором этих ячеек по заданному алгоритму с автокоррекцией по состоянию объекта.

Таким образом, за счет импульсной модуляции только одного параметра – сварочного тока – создана возможность независимого и раздельного управления плавлением и переносом электродного металла и плавлением и кристаллизацией основного металла (рис. 2).

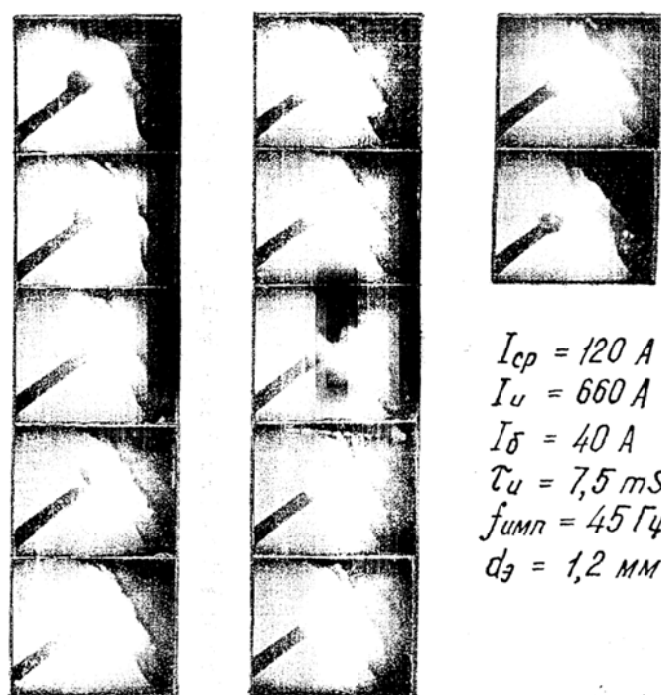


Рис. 2

В связи с тем, что нет прямых методов контроля выходных регулируемых величин, обратные связи при автоматизации сварочных процессов строятся по контролю параметров внутреннего состояния объекта, которыми являются ток и напряжение дугового промежутка. Но так как дуга является существенно нелинейным объектом, то зависимость между током и напряжением является также нелинейной зависимостью. Поэтому построение обратных связей по напряжению дуги при непрерывном режиме представляет весьма сложную задачу.

Сущность импульсного питания дуги заключается в том, что дугу питают импульсами сварочного тока (дискретные ячейки процесса) в промежутке между которыми горит дежурная дуга, которая обеспечивает непрерывность горения дуги и играет роль измерительной дуги. Поскольку ток дежурной дуги является постоянной величиной ($15 \div 50$)А и не зависит от среднего значения тока, то напряжение дежурной дуги позволяет однозначно оценивать длину дуги и обеспечивать при помощи обратной связи квазистабильность длины дуги, и динамическую стабилизацию в сварочной ванны.

Такой процесс реализован при сварке в защитных инертных и активных газах и прошел технологическую проверку во ВНИИСТ в двух разновидностях длинной и короткой дугой.

В настоящее время процесс сварки короткой дугой с управляемым механизмом коротких замыканий под названием STT используется американской фирмой «Линкольн-Электрик» при строительстве нефтепровода на Японию.

При ручной дуговой сварке (РДС) модулированным током электродами с покрытием разработана концепция «машина–человек–технология», позволившая разработать методы и средства модуляции второго поколения, впервые давшие возможность сварщику активно, по своему желанию, управлять тепловой мощностью дуги и формированием шва во всех пространственных положениях, с учетом своих физиологических возможностей и обстановки в зоне сварки.

Разработаны методы активного управления процессом РДС модулированным током, применение которых позволит сварщику управлять тепловой мощностью дуги. При РДС электродами с покрытием модулированным током, модулирующим параметром является напряжение дугового промежутка – U_d , которое сварщик изменяет в пределах 1,5–2 Вольт без нарушения газошлаковой защиты зоны сварки. Модулирующим параметром режима являются длительность основной паузы $t_{п.осн}$, длительность основного импульса $t_{и.осн}$ или одновременно длительность основной паузы и основного импульса $t_{и.осн} + t_{п.осн}$. В результате изменения модулируемых параметров изменяется численное значение величины среднего тока – $I_{ср}$. Осциллограммы такого процесса представлены на рис. 3, 4.

Где $I_{и}$ – ток импульса; $I_{п}$ – ток паузы; $I_{и.доп}$ – ток дополнительного импульса; $T_{ц}$ – период основного цикла; $t_{и.доп}$ – период импульса дополнительного; $t_{п.доп}$ – период дополнительной паузы; $I_{ср}$ – средний ток; U_d – напряжение дуги; U_3 – заданное напряжение; $U_{п}$ – пороговое напряжение; $U_{разр}$ – напряжение разрыва дуги.

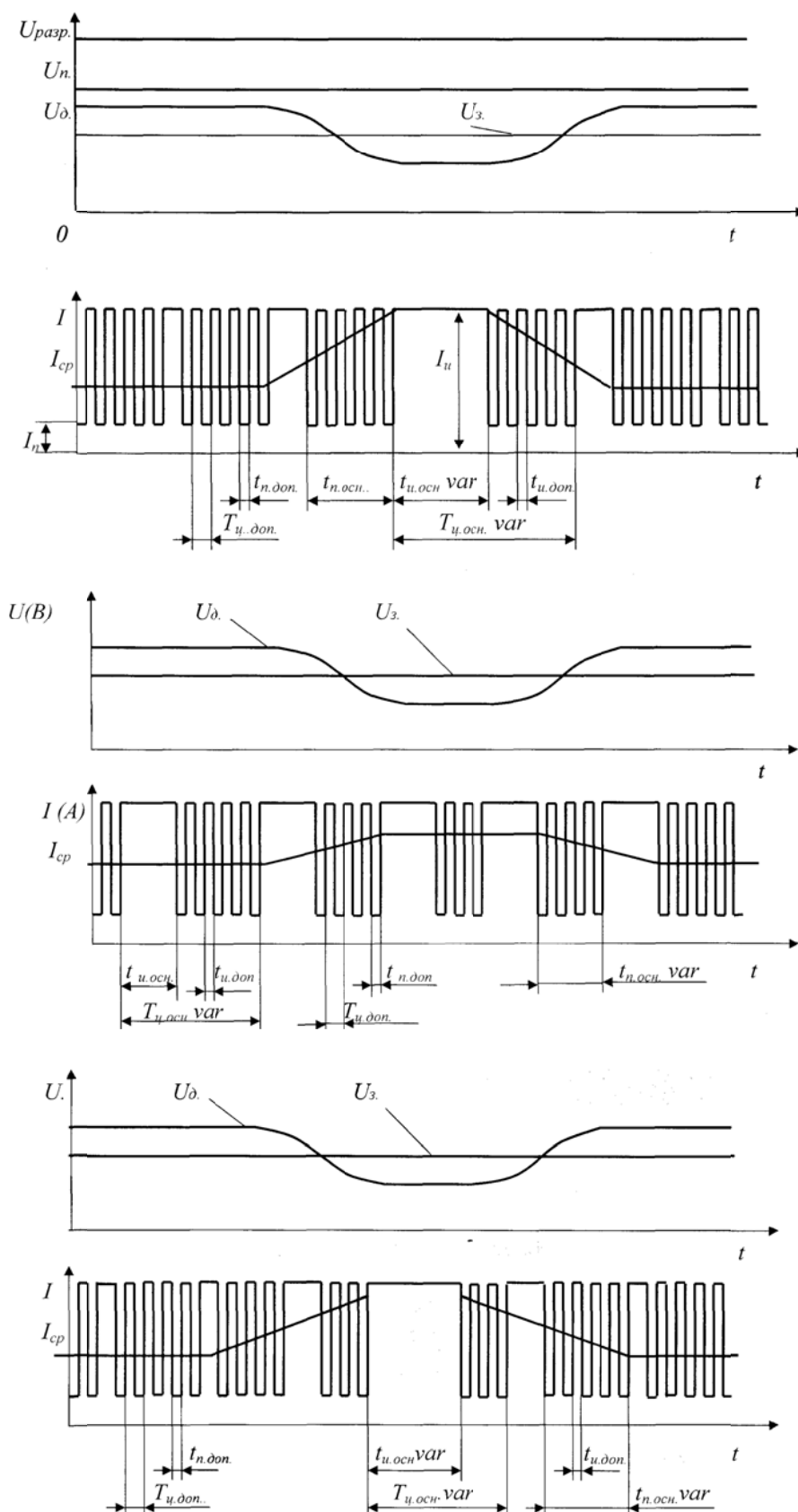


Рис. 3. Осциллограммы методов сварки модулированным током с активным управлением тепловой мощностью: циклограмма изменения U_{δ} относительно U_3 и величины среднего тока; метод РД сварки с импульсной модуляцией одновременно $t_{u.осн.} + t_{n.осн.}$;

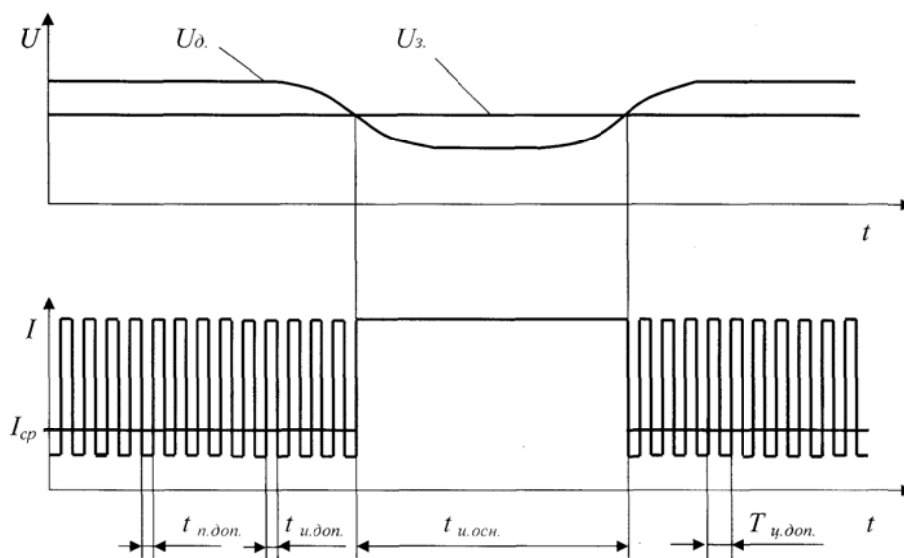


Рис. 4. Осциллограммы методов РД сварки модулированным током с активным управлением тепловой мощностью, реализующих релейный режим.

Такие методы, наряду с отличным формированием шва, обеспечивают высокую физическую устойчивость горения дуги, высокую технологическую устойчивость процесса сварки и снижает нагрузку на зрение от модуляции светового потока.

При сварке неплавящимся электродом в инертных газах (Ar, He) разработаны методы и средства для импульсного питания сварочной дуги [3, 4].

При сварке трубопроводов для транспортировки нефти, содержащей сероводород, особое значение приобретает качество сварки корневого слоя из-за ножевой коррозии. Для этой цели разрабатывается комплекс мероприятий и средств для сварки дугой, горящей в динамическом режиме. При малой длительности импульсов с малыми длительностями фронта и среза термодинамические процессы в столбе дуги не успевают следовать за изменением тока и происходит резкое контрагирование столба дуги и концентрированный ввод тепла дуги в изделие. Это позволяет вести сварку корневого слоя со сквозным проплавлением, формирующим технологическое отверстие в виде замочной скважины, обеспечивающем высокое качество корневого слоя.

На рис. 5 представлена динамическая характеристика дуги в аргоне.

Результаты НИР и ОКР по разработке методов и систем импульсного управления позволили создать технические средства для реализации различных технологических процессов.

Так автором предложен тиристорный ключ принудительной двухступенчатой коммутации последовательного типа, на базе которого разработаны модификации импульсно-регулируемого сопротивления для различных дуговых процессов в составе импульсных модуляторов сварочного тока до 1500 А в импульсе, отличающемся высокой надежностью и работоспособностью.



Рис. 5. Динамическая характеристика дуги в аргоне

Разработаны тиристорные и транзисторные инверторы, которые работают много лет в подразделения Кузбассэнерго, ОАО «Азот», в организациях, строящих трубопроводный транспорт, в мелких организациях и др.

На базе разработанных процессов сварки, методов управления и систем импульсного питания создан действующий макет специализированного робота для сварки неповоротных стыков магистральных трубопроводов с геометрической и технологической адаптацией параметров режима в функции пространственного положения сварочной ванны.

Основным направлением продолжения работ на будущее является разработка адекватных математических моделей различных процессов в дуге, объединение их в обобщенную математическую модель сварочного процесса, что позволит практически исключить эксперименты с металлом, разработка микропроцессорных (интеллектуальных) систем управления процессами сварки третьего поколения, обеспечивающими более комфортные условия сварщикам и операторам и управление процессами на уровне доменов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.с. СССР № 521089. Способ импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом. Зайцев А.И., Князьков А.Ф., Дедюх Р.И и др. Бюл. № 26, опубл. 29.09.1976.
2. А.с. СССР № 522014. Способ импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом. А.И. Зайцев, Князьков А.Ф., Р.И. Дедюх и др. Бюл. № 27, опубл. 23.03.1976.
3. Патент РФ № 2133660. Способ импульсно-дуговой сварки. Князьков А.Ф., Кралепиж Н.Ю., Петриков А.В. Бюл. № 21, опубл. 27.07.1999.
4. А.с. СССР № 1779506. Устройство для сварки. Князьков А.Ф., Швалев В.В., Долгун Б.П. Бюл. № 45, опубл. 07.12.1992.