

Дуговая сварка со струйным переносом металла с импульсным управлением

Технология, сферы применения и преимущества нового принципа дуговой сварки

В связи с ростом стоимости сырья производители стали и присадочного металла стремятся уменьшить долю дорогостоящих сплавов в своей продукции или заменить их на более экономичные аналоги. Однако, изменение состава металлов требует новых программ сварки и сварочных технологий для различных условий дуговой сварки. Компания Fronius, ведущий разработчик сварочных технологий и техники, предоставляет подробные сведения о порядке программирования сварочных параметров, а также о технологических решениях, областях применения и преимуществах новой системы PCS (дуга со струйным переносом металла с импульсным управлением).

В базе данных компании Fronius, в настоящее время, хранится около 1300 готовых программ с различными параметрами сварки. Применение этих программ способно решить практически любые промышленные задачи. Тем не менее, иногда требуется задать совершенно новую сварочную программу. Такая ситуация может возникнуть, например, при использовании новых присадочных металлов, защитных газов или диаметров сварочной проволоки, характеристики которых пока отсутствуют в базе данных. Новые сварочные программы могут также потребоваться для оптимизации сварочных процессов за счет повышения скорости сварки, изменения глубины проплавления или внешнего вида шва. В первой части настоящего документа рассмотрены переменные сварочного процесса и принципы работы; вторая часть содержит описание технологии, областей применения и преимуществ новых параметров PCS. Новый набор параметров обеспечивает существенное повышение стабильности сварки, получение намного более высоких результатов сварки и значительно меньшей доработки деталей при соединении листов из низколегированной стали.

Настройка параметров сварки

«Цифровая революция» навсегда изменила сварочные технологии. Одним из пионеров данного процесса является компания Fronius – австрийский производитель сварочных систем. Выпускаемые данной компанией системы оснащаются цифровыми процессорами и средствами графического отображения синергических параметров дуги. Это открывает совершенно новые возможности по контролю и управлению сварочным процессом. В результате точность и воспроизводимость результатов сварки заметно повышаются. Основным принципом данного подхода является определение, задание и воспроизведение параметров сварки в электронной форме. На практике очень удобно иметь под рукой актуальные значения параметров, которые могут быть автоматически отрегулированы в любое время для получения требуемого качества сварного соединения. Цифровые сварочные технологии обладают именно этим свойством, позволяя сварщикам точно настраивать системы для работы с различными материалами, присадочными металлами, защитными газами и технологическими условиями. Вместо внесения глубоких изменений в аппаратную часть источника всё, что необходимо пользователю, это наличие нового набора сварочных параметров, т.е. все изменения осуществляются программным способом. Понимание принципов работы увеличивает прозрачность процесса и выявляет важные взаимосвязи, особенно в отношении импульсно-дуговой сварки.

Форма волны электрического тока при выполнении импульсно-дуговой сварки отражает различные фазы и значения силы тока (рисунок 1). Вначале присутствует базовый ток с наложенным импульсным током. В то время, как ток замыкания на землю остается постоянным (горизонтальная ось), импульсный ток демонстрирует обычный рост и падение токовой кривой. Более конкретно, это относится к двум ограниченным по времени величинам тока для импульсного периода и периода отделения капли. Для импульсного периода характерно относительно плавное линейное нарастание тока до момента выравнивания. По прошествии импульсного периода начинается период тока отделения капли. Ток вначале резко падает, затем понижается линейно, затем наклон кривой уменьшается, и ток достигает базового уровня тока отделения капли. За данным этапом следует окончательное падение на заметно меньшую величину до базового тока. Значение отдельных фаз разъяснено ниже.



Рис. 1: Индивидуальное программирование характеристик является мощным средством оптимизации сварочных технологий. Однако, для этого необходимы глубокие знания ключевых особенностей дуговых процессов.

Ток заземления предназначен для поддержания дуги в период между отдельными фазами импульсного тока. Величина в данном случае зависит от правильного задания величины силы тока. При задании слишком высокого тока замыкания на землю расплавление проволочного электрода окажется выше необходимого, а размер капель будет слишком большим. Это отрицательно повлияет на процесс отделения капель. Однако, при задании слишком низкого тока замыкания на землю также низкой окажется ионизация дуги, вследствие чего возможно прерывание дуги в фазе тока замыкания на землю.

В специальной литературе часто встречаются заявления относительно того, что импульсный ток предназначен для полного отделения капли от сварочной проволоки. Между тем задача импульсного тока заключается только в формировании такой капли, что для её полного отделения от сварочной проволоки будет достаточно лишь слабого тока отделения. Важным моментом здесь является выбор периода импульсного тока, точно подходящего к уровню импульсного тока; это необходимо для поддержания требуемой энергии импульса.

Уровень импульсного тока зависит в первую очередь от материала и диаметра проволочного электрода, а также от используемого защитного газа. При задании слишком короткого периода импульсного тока и

слишком высокого импульсного тока можно не добиться требуемого эффекта отделения капли. Если необходимо обеспечить перенос металла без возникновения короткого замыкания, то для обеспечения надлежащего формирования капли импульсный ток должен превышать критический уровень.

Определяющими факторами для формирования капли являются уровень и продолжительность действия импульсного тока, а также действующие на каплю ускоряющие силы. Уровень импульсного тока также влияет на давление дуги, которое воздействует на сварочную ванну через плазменный шнур. Настройка указанных параметров сварки позволяет, например, увеличить глубину проплавления, что, в свою очередь, приведет к незначительному снижению скорости сварки. Однако, влияние силы тока на процесс оказывается намного более сложным. По причине высоких уровней энергии импульса слишком высокий импульсный ток может привести к разрушению капли и образованию нежелательных брызг. И наоборот, при задании слишком низкого импульсного тока энергии для формирования капли может оказаться недостаточно. В результате капля на конце проволочного электрода не будет сформирована должным образом, из-за чего процесс отделения капли будет более длительным и потребует нескольких импульсов для отделения. Такой процесс переноса капли может вызвать сильное брызгообразование и зачастую приводит к осаждению капли вне оси электрической дуги, рядом со сварным швом. Это значительно увеличивает объемы необходимой доработки сварных изделий.

Длина импульсной фазы, выраженная в миллисекундах, в основном зависит от свойств защитного газа, присадочного металла и диаметра проволоки. Чем ниже импульсный ток и больше диаметр проволоки присадочного металла, тем больший период импульсного тока следует задавать в целях обеспечения переноса материала без короткого замыкания. При разработке набора параметров необходимо принимать во внимание и множество других дополнительных факторов. Например, падение тока (выраженное в А/мс) в конце периода импульсного тока не должно быть слишком резким, если процесс отделения капли допускает такой подход. В результате будут снижены уровни помех. Интенсивность падения тока зависит от таких параметров, как свойства присадочного металла и состав защитного газа.

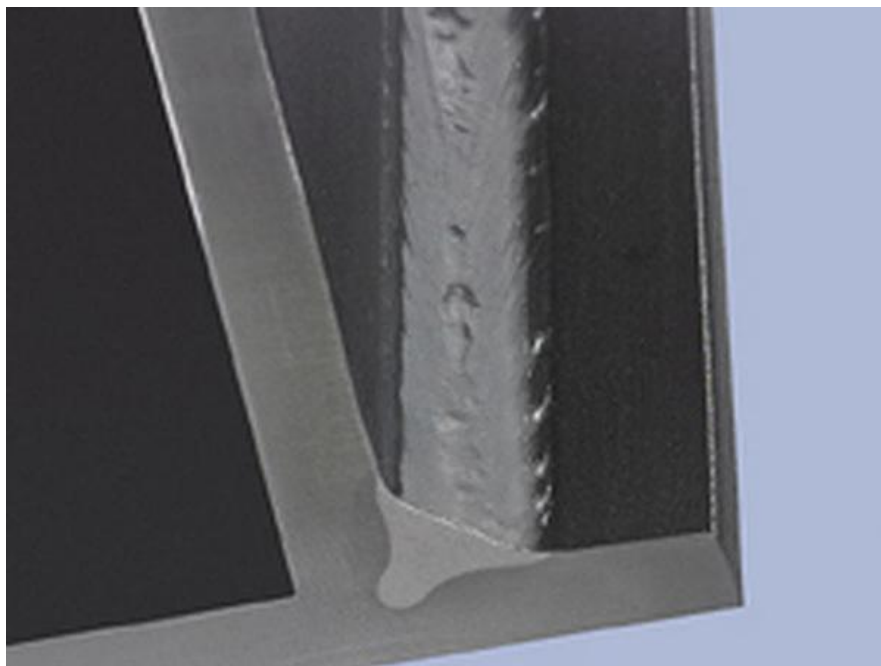


Рис. 2: Тавровые швы, полученные с применением PCS, выделяются своей глубиной и узкой шириной; две стальные пластины толщиной 8 мм, ширина катета шва (размер a) 5 мм, присадочный металл G3Si1, газовая смесь: 8% CO₂ и 92% аргона.

Создание программ является мощным средством оптимизации сварочных технологий. Для этого, однако, требуются глубокие знания технологии дуговой сварки. Компания Fronius в рамках технической поддержки готова предоставить заинтересованным пользователям полезный инструмент – универсальный блок управления RCU 5000i с модулем памяти. С помощью данного блока пользователи будут иметь возможность создания и сохранения программ для сварочных систем Fronius, предназначенных для выполнения импульсной и обычной сварки с применением любых стандартных присадочных материалов для сварки MIG/MAG (сварки плавящимся электродом в среде защитных газов).

Это обеспечит значительные преимущества в отношении воспроизводимости результатов сварки. Результаты, достигнутые сварщиком в определенных условиях с использованием определенных наборов параметров и настроек, могут быть получены снова в любое время. Сварщик анализирует имеющееся рабочее задание и назначает соответствующие параметры сварочного процесса. Таблица данных может быть сохранена в памяти сварочной системы, пульта дистанционного управления или внешнего устройства. Сварочные системы TransPuls Synergic 4000/5000 производства компании Fronius способны хранить в памяти до 100 сварочных программ или заданий; память устройства дистанционного управления RCU 5000i позволяет сохранять до 1000 программ. В целях создания базы данных практически неограниченного объема аппараты также могут подключаться к внешнему компьютеру через соответствующий интерфейс. Установленные таким образом рабочие параметры могут считываться из памяти с необходимой периодичностью.

PCS – новые возможности по повышению эффективности сварки стальных заготовок

PCS (дуга со струйным переносом металла с импульсным управлением) - это новый набор сварочных параметров, специально разработанный компанией Fronius. Эти параметры сочетают в себе настройки стандартной сварки и импульсно-дуговой сварки со струйным переносом металла. Целью разработки данного набора являлось удовлетворение требований к высокопроизводительной сварке с невероятно широким полем настроек в верхнем диапазоне мощности. Это означает, что в случае необходимости сварка может начинаться «плавно» в импульсном режиме при сниженной мощности (например, до 50%). Затем, по прошествии заданного периода времени, уровень мощности повышается (вручную, либо автоматически) до рабочего уровня, определяемого набором параметров. Данная фаза процесса выделяется прямым переходом к «жесткому» режиму дуговой сварки со струйным переносом металла. Для тонких листов рабочая точка определяется набором параметров в диапазоне импульсной дуги; для толстых листов переход к струйному переносу осуществляется либо сразу, либо по прошествии периода работы со сниженной мощностью. Для сварных швов с заполнением кратера в конце шва процесс выполняется в обратном порядке. Все настройки процесса могут быть сохранены пользователем в виде рабочей программы для сварки толстолистовых материалов. Наиболее важными преимуществами нового набора параметров являются: повышенная глубина проплавления, скорость сварки и производительность наплавки, возможность выполнения сварки без короткого замыкания при скоростях подачи проволоки от 1,5 до 22 м/мин., возможность регулирования настроек в импульсном диапазоне и перенос металла с малым количеством брызг. Все эти преимущества позволяют компании Fronius удовлетворять запросы пользователей, предъявляющих высокие требования в отношении качества, производительности, надежности и воспроизводимости результатов.

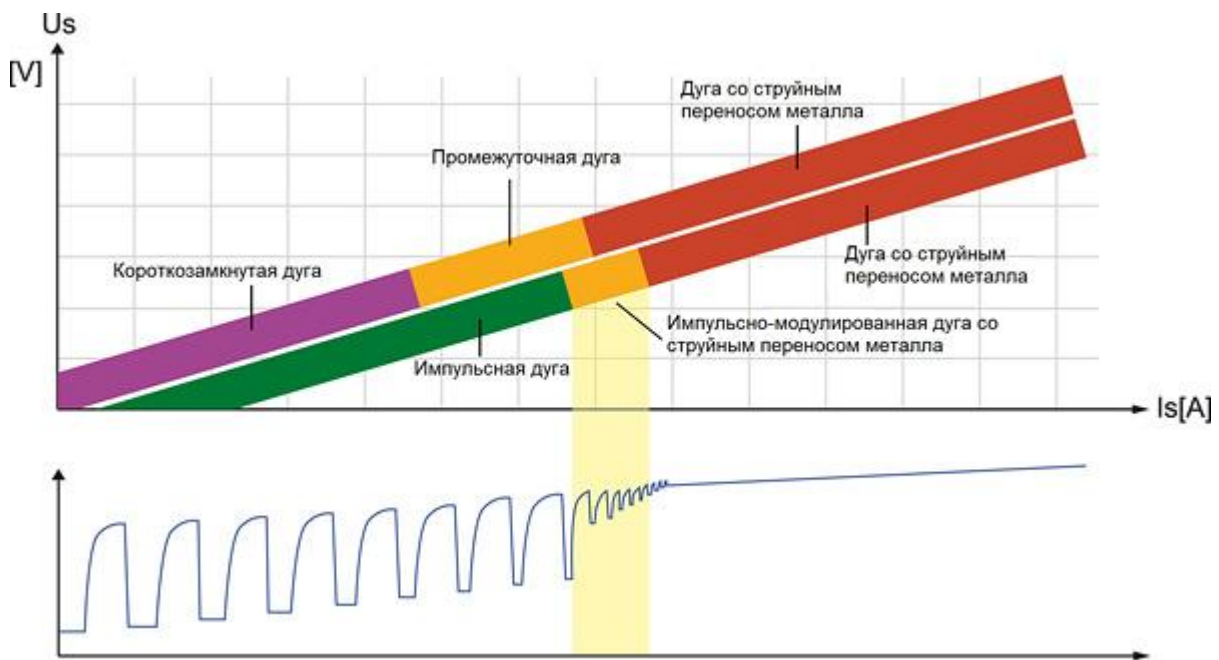


Рис. 3: Сравнение традиционной технологии «короткая дуга/промежуточная дуга/дуга со струйным переносом» с инновационной технологией «импульсная дуга/импульсно-модулированная дуга/дуга со струйным переносом».

Подробное описание принципов PCS – увеличение производительности и КПД

Набор параметров PCS имеет фундаментальные отличия от традиционных наборов характеристик. В последних количество отделяемых капель определяется частотой изменений напряжения и тока импульсной дуги; в отличие от этого дуга со струйным переносом металла (например, с частотой свыше 300 Гц) характеризуется неопределённым, но, однако, очень высоким количеством капель. Эти капли отделяются (распыляются) со сварочной проволоки независимо от частоты. Стандартные технологии, уже предлагаемые на рынке, предусматривают поддержание напряжения дуги со струйным переносом металла на постоянном уровне. Компания Fronius, однако, выбрала иной путь - PCS предусматривает поддержание тока на постоянном уровне! В результате такого существенного технологического отличия набор параметров PCS не допускает формирования промежуточной дуги. Ключевым преимуществом данного подхода является практическое исключение брызгообразования и необходимости в доработке сварных изделий.

Новый набор параметров позволяет создать очень короткую, но по-прежнему мощную дугу со струйным переносом, что обеспечивает повышенную глубину проплавления при меньшей ширине сварочной ванны. Сварка в верхнем диапазоне мощности выполняется с существенно повышенной скоростью, швы обладают более высокой надежностью и качеством по сравнению со стандартными швами. Помимо значительного повышения производительности, основная выгода для пользователя заключается в повышении конкурентоспособности изделий. Компания Fronius разработала новый набор параметров PCS для объединения свойств импульсной и стандартной дуговой сварки со струйным переносом металла без необходимости формирования промежуточной дуги. Данный набор параметров совмещает частоту обычной импульсной дуги с частотой дуги со струйным переносом металла. Основными факторами, учитываемыми в PCS, являются основной металл, присадочный металл, диаметр проволоки и состав защитного газа. Например, при сварке ферритных сталей, набор PCS устанавливает следующий состав защитного газа: 8% CO₂ + 92% Ar и сварочную проволоку G3Si1 (или ER70 по международному обозначению) диаметром 1,0 или 1,2 мм. По диаметру сварочной проволоки с учетом толщины заготовки

определяется скорость подачи проволоки. Другими словами скорость подачи проволоки соответствует мощности, которая, в свою очередь, соответствует толщине заготовки и скорости сварки.

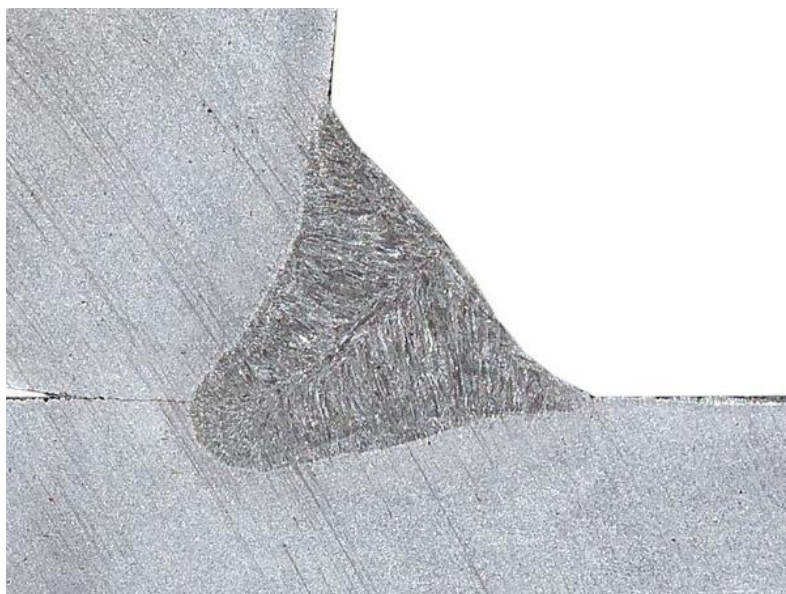


Рис. 4: Сечения обоих швов с очевидностью отражают различия. Первым показан шов, полученный импульсной сваркой; вторым – тавровый шов, выполненный с применением PCS (дуга со струйным переносом металла с импульсным управлением).

Гибкость в изменяющихся производственных условиях

Каков порядок действий в том случае, если значения параметров должны отличаться от установленных в наборе PCS? Это может произойти при определенных условиях, например, если количество CO₂ намного меньше номинального. Отклонения содержания CO₂ от расчетных 8% могут вызвать изменения длины дуги. В зависимости от этого выбирается подходящий набор PCS.

В принципе, для получения нужной длины дуги набор PCS может быть скорректирован изменением напряжения. Для корректировки длины дуги предусмотрен широкий диапазон регулирования в большую или меньшую сторону относительно «идеального» сварочного напряжения 30 В. Однако, изменение напряжения приведет к изменению электрической мощности и, соответственно, тепловложения. Это же

условие применимо также к ЗТВ (зона термического влияния) в случае стабильной производительности наплавки.

Например, повышенное содержание CO₂ приведет к увеличению диаметра и расфокусировке дуги. Вследствие этого, из-за уменьшения плотности тока и, соответственно, давления дуги расширится зона плавления и уменьшится глубина проплавления. Снижение давления дуги приводит к повышению напряжения, но тепловая мощность (меньшая) подается в расширенную околошовную зону. Данные факторы могут быть скомпенсированы изменением напряжения (как указано выше) или снижением скорости сварки. Иные отклонения параметров, например, диаметра проволоки, от установленных в наборе PCS, оказывают сравнимое с рассмотренным выше влияние и требуют аналогичных корректирующих действий. Однако, например, изменение диаметра проволоки на 1,0 мм вместо 1,2 мм, требует изменения таблиц параметров, в связи с чем создание дополнительного набора параметров будет гораздо более разумным решением.

Заключение: применение набора параметров PCS на практике

Новый набор параметров отличается высокой степенью универсальности в отношении толщины материалов, а также возможностью добиться высокой производительности наплавки. Если необходимо, импульсный процесс может быть начат в «мягком» режиме до переключения на «жесткий» струйный перенос металла без промежуточной стадии. Кроме того, тот же набор параметров может быть применен для сварки следующего шва в обычном режиме импульсно-дуговой сварки. Также данный набор обеспечивает дополнительные преимущества точной фокусировки дуги с соответствующим увеличением глубины проплавления. Благодаря этому повышаются скорости подачи проволоки, что увеличивает производительность наплавки и приводит к значительному росту скорости сварки с сохранением широкого катета шва (размера a). Сварка с применением набора параметров PCS осуществляется со скоростью подачи проволоки от 1,5 до 22 м/мин. с исключительно низким образованием брызг. В импульсном диапазоне может быть проведена настройка дуги.

Таким образом, благодаря новому набору параметров PCS компания Fronius создала стандартную технологию, обеспечивающую надежную, экономичную и высококачественную сварку с воспроизводимыми результатами и минимально необходимой доработкой сварных изделий. Широкий диапазон регулирования значительно расширяет область применения в отношении толщины материала по сравнению с аналогичными стандартными наборами параметров.



Рис. 5: Тавровый шов между стальной трубой и фланцем, $a = 5$ мм, скорость подачи проволоки: 12 м/мин., скорость сварки: 90 см/мин., присадочный металл ER 70 с диаметром проволоки 1,4 мм.