



УДК 621.791.927.5:537.63

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ СВАРКИ С УПРАВЛЯЕМЫМ ПЕРЕНОСОМ ЭЛЕКТРОДНОГО МЕТАЛЛА (Обзор)

В. А. ЛЕБЕДЕВ, д-р техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Проведена оценка современных разработок механизированного оборудования для сварки и наплавки плавящимся электродом. Показано, что современные технические решения связаны с управлением переноса электродного металла как основного средства совершенствования механизированных дуговых процессов. Приведены примеры реализации управления переносом электродного металла.

Ключевые слова: сварка, наплавка, импульс, источник, инвертор, перенос, управление, механизм подачи

Разрабатываемые и предлагаемые на рынке полуавтоматы для сварки и наплавки постоянно совершенствуются с целью получения швов и наплавленных валиков с оптимальными соотношениями геометрических параметров и качества металла, в том числе и околошовной зоны; снижения затрат на последующую обработку; уменьшения расхода материальных и энергетических ресурсов; уменьшения влияния на процессы сварки и наплавки сварщика-оператора.

Все приведенные выше направления объединяла главная тема концерна ESAB «Увеличение производительности» на выставке «Сварка и резка», которая прошла в Эссене (Германия) с 14 по 19 сентября 2009 г. В данной работе использован иллюстративный материал из рекламных проспектов ведущих фирм-экспонентов выставки.

Задачи совершенствования сварочного оборудования в разные периоды решали различными способами, в том числе путем создания новых сварочных материалов, применения многокомпонентных смесей защитных газов, совершенствования основных и вспомогательных узлов и оборудования в целом.

В 1960-е годы получил достаточно широкое распространение импульсно-дуговой процесс сварки, суть которого заключалась в использовании импульсных алгоритмов управления источником сварочного тока процессом переноса электродного металла [1].

В настоящее время совершенствование сварочных процессов и оборудования для механизированной сварки в основном происходит с учетом возможностей, которые можно получить, используя инверторные источники сварочного тока и разнообразие алгоритмов управления переносом электродного металла и циклом сварки. Это про-

демонстрировали на выставке большинство представленных фирм-производителей соответствующего оборудования для сварки сталей, сплавов алюминия, титана. В основном это оборудование относится к полуавтоматам для сварки плавящимся электродом.

Одними из первых разработок в области управляемого переноса электродного металла с использованием инверторных источников сварочного тока явились технические решения, предложенные фирмой «КЕМРРИ» (Финляндия), в виде синергетического управления. Суть этого способа управления известна и описана в работе [2]. Технологии и оборудование фирмы «КЕМРРИ» постоянно развиваются и совершенствуются. В качестве примера такого совершенствования предложен новый МИГ/МАГ процесс FastROOT — сварка модифицированной короткой дугой, которая основана на цифровом контроле параметров дуги (сварочного тока и напряжения). Она применяется для сварки низкоуглеродистых и легированных сталей и облегчает, а также ускоряет работу сварщика. Сварка может проводиться во всех пространственных положениях, с хорошим проплавлением и при практически полном отсутствии брызг. Технология FastROOT обеспечивает лучшее качество шва, чем при сварке ТИГ, при более высокой производительности. Принцип работы FastROOT основан на разделении цикла сварки на два периода: период короткого замыкания и период горения дуги, чередующихся между собой (рис. 1). В период короткого замыкания проволока замыкается накоротко на сварочную ванну, ток резко увеличивается и остается на заданном уровне. В начале периода короткого замыкания есть короткий резкий скачок сварочного тока. В течение периода короткого замыкания при резком скачке тока до заданного уровня возрастает электродинамическая сила, обеспечивающая отделение капли металла с торца сварочной проволоки. При медленном снижении сварочного то-

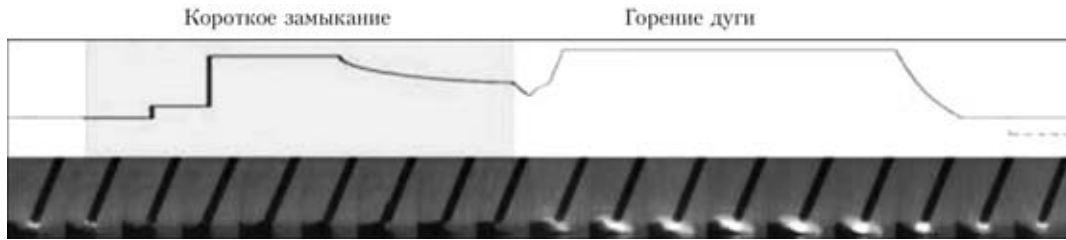


Рис. 1. График изменения сварочного тока в процессе FastROOT

ка происходит плавное отделение капли. В момент переноса капли в сварочную ванну начинается второй период увеличения тока и зажигается дуга. Точное управление временем увеличения и снижения тока гарантирует отсутствие брызг при переходе от короткого замыкания к горению дуги.

В период горения дуги формируется сварочная ванна и обеспечивается необходимое проплавление корня шва. Эти два периода увеличения тока следуют друг за другом, в конце каждого из них ток устанавливается и удерживается на заданном уровне. Точно выставленная базовая сила тока гарантирует перенос каждой следующей капли в течение периода короткого замыкания, что создает условия бесперебойного отделения капель и их перенос в сварочную ванну практически без брызг с гарантией стабильности дуги и простоты управления процессом сварки.

Полуавтомат с реализацией рассмотренного процесса FastMIG Synergic приведен на рис. 2.

В настоящее время продолжает интенсивно развиваться направление, в котором основное внимание уделяется разработке систем и способов управления переносом электродного металла, позволяющим эффективно решать задачи обеспечения качества процессов, а также энерго- и ресурсосбережения. Подтвердить целесообразность этого пути развития механизированной сварки и наплавки позволяет как весь экспонируемый мно-

гочисленными фирмами широкий ряд полуавтоматов для сварки и наплавки на международной выставке «Сварка и резка 2009» в Эссене, так и комплекс работ, выполняемый в ИЭС им. Е. О. Патона.

Большинство полуавтоматов современных конструкций содержат источники сварочного тока с различными алгоритмами изменения выходных параметров, позволяющих осуществить управление переносом электродного металла. При этом используются SST-технологии, технологии «холодной сварки», их различные варианты и комбинации воздействий на дуговой процесс (управляемое формирование и перенос капли электродного металла).

Наиболее широкий спектр технологических новшеств был представлен известной фирмой «CLOSS» (Германия). Среди них «холодный процесс» (CP), реализованный с помощью сварочного полуавтомата этой фирмы типа GLC 353 QUINTO CP, который имеет существенные преимущества по сравнению с обычной технологией, особенно при сварке тонкостенных деталей. Благодаря новой форме импульсов сварочного тока достигается снижение термической нагрузки на основной материал (уменьшение внесения энергии) и одновременно повышается мощность плавления сварочной проволоки и, следовательно, скорость сварки. Цикл переноса электродного металла происходит по следующему алгоритму (рис. 3):

в фазе положительного основного тока происходит очищение основного материала (разрушение оксидного слоя), в материал вносится точно рассчитанное количество тепловой энергии;

в фазе пульсации происходит отрыв капли без образования брызг;

в фазе отрицательного основного тока (каплеобразование) дуга охватывает конец проволоки. Происходит передача определенного количества тепловой энергии в сварочную проволоку, при этом сварочная ванна остывает.

В результате обеспечивается отличная перекрываемость зазоров свариваемых деталей, точность и повторяемость результата сварки.

Сварка CP является оптимальной и эффективной для соединения высокопрочных, нержавеющей сталей, материалов с покрытием, алюминиевых сплавов, а также для МИГ пайки.



Рис. 2. Полуавтомат FastMIG Synergic

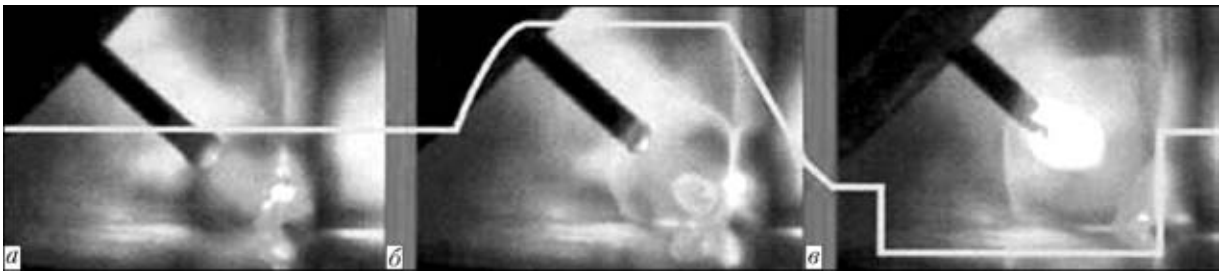


Рис. 3. Процесс управления переносом электродного металла при холодном процессе: *а* — фаза положительного тока; *б* — фаза пульсации; *в* — фаза отрицательного тока

К преимуществам СР сварки с указанными другими алгоритмами формирования импульсов сварочного тока следует отнести следующие: высокая скорость сварки; повышение производительности; высокое качество шва; снижение передачи тепловой энергии в материал; уменьшение тепловых деформаций; снижение риска образования трещин в зоне шва из-за перепада температур; минимум брызг расплавленного металла; отсутствие последующей обработки; возможность использования электродной проволоки большого диаметра; снижение расходов на электродную проволоку; возможность получения нового процесса — пайка в инертном газе (МИГ пайка).

На выставке была широко представлена технология и оборудование для сварки с использованием STT-процесса, разработанного в компании «Lincoln Electric» (США). При этом обеспечивается высококачественная полуавтоматическая сварка корневых швов с обратным формированием соединения, сварка тонколистового материала, уменьшение разбрызгивания электродного металла.

Формы кривых сварочного тока и напряжения при полуавтоматической сварке методом STT представлены на рис. 4. Рассмотренный процесс реализован в сварочном источнике INVERTEC STT2, который представлен на рис. 5.

Необходимо отметить следующие разработки компании «Lincoln Electric»: источники сварочного тока типа Power Wave 355M — универсальные инверторные источники питания дуги, в том

числе для импульсно-дуговой полуавтоматической сварки в среде защитного газа с синергетическим управлением параметрами сварки и программным управлением формой импульса тока. Источник вообрал в себя последние достижения в силовой инверторной технике и микропроцессорном управлении с оптимизированным программным обеспечением, разработанным в компании «Lincoln Electric», что обеспечивает широкие возможности сварки в сочетании с простотой использования. Сварщику следует просто выбрать одну из более 60 сварочных программ в зависимости от типа материала, диаметра проволоки и защитного газа и установить скорость подачи сварочной проволоки. Источник автоматически обеспечивает оптимальные форму и параметры импульсов тока, поддерживая контроль за каждой каплей наплавляемого металла. Спектр свариваемых материалов очень широк — стали, нержавеющие стали, алюминий, никелевые сплавы и т. д. Оборудование позволяет снизить требования к профессионализму сварщика и в то же время обеспечивает повышенное качество и производительность сварочных работ; технология управления формой и параметрами импульсов сварочного тока Wave Control обеспечивает оптимальное течение сварочного процесса, т. е. для каждого типоразмера проволоки и материала сва-

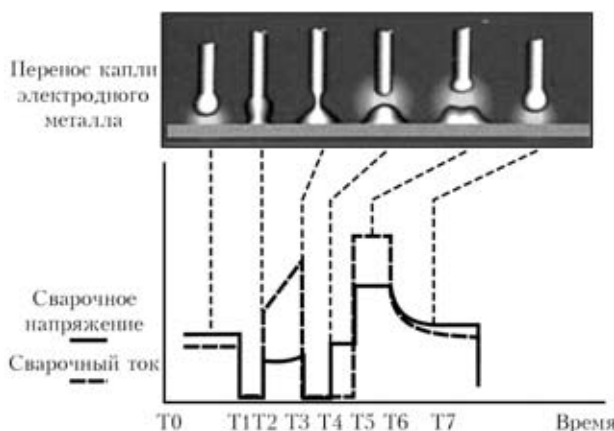


Рис. 4. Диаграммы переноса капли электродного металла при SST управлении



Рис. 5. Источник сварочного тока INVERTEC STT2



рочные свойства источника устанавливаются оптимальными для получения наилучших результатов сварки. Основными преимуществами новой технологии управления формой сварочного тока являются точное управление параметрами сварочного процесса, их взаимодействие, мгновенная реакция на возможные отклонения параметров дуги, простота использования.

Новые режимы, предложенные и демонстрируемые на выставке компанией «Lincoln Electric»:

— «постоянная энергия» (Power Mode) — обеспечивает стабильный, спокойный процесс при сварке короткой дугой тонких материалов;

— «импульс в импульсе» (Pulse-in-Pulse) — улучшает очистку при полуавтоматической сварке алюминия и формирует сварной шов такого же внешнего вида, как при сварке вольфрамовым электродом;

— «быстрая дуга» (Rapid Arc) — предназначен для высокоскоростной (до 2,5 м/мин — по материалу разработчика) полуавтоматической сварки углеродистых сталей толщиной до 4 мм.

Все новые разработки компании «Lincoln Electric» базируются на адаптивных синергетических программах, т. е. имеют программные обратные связи для корреляции возникающих отклонений сварочного процесса, что отличает источник от большинства аналогов с жесткоустановленными параметрами импульсов. Сварочные программы постоянно дополняются новыми, разрабатываемыми производителем. Заметим, что потребитель этого оборудования имеет возможность создания собственных сварочных программ, используя приобретенное программное обеспечение Wave Designer. Этим, по нашему мнению, объясняется очень широкое распространение STT-процесса и его различных модификаций, которые отличаются друг от друга некоторыми особенностями в форме импульса, а в некоторых случаях содержат дополнительные воздействия за счет программного обеспечения и возможностей современных источников питания. Так, фирма «STEL» (Италия) разработала и использует в полуавтоматах комбинированное управление, которое включает как импульсные синергетические алгоритмы, так и модуляцию, что обеспечивает хорошие условия труда сварщиков, в том числе в положениях, отличных от горизонтального, при выполнении коротких и точечных швов при высоком и повторяемом качестве.

Для сравнения рассмотрим разработки НПО «СЭЛМА-ИТС» (Россия–Украина) [3]. Предложен новый сварочный процесс, который также является разновидностью полуавтоматической сварки с периодическими короткими замыканиями и получил название процесса сварки с вынужденными короткими замыканиями — процесс ВКЗ. Основой разработки послужил анализ не-

достатков способа STT — высокая стоимость сложной инверторной сварочной техники; дорогостоящее программирование параметров сварочного режима при необходимости сварки в нестандартном для данного сварочного аппарата режиме и сложность технического обслуживания; управление сварочным аппаратом осуществляется изменением циклограммы тока сварочной дуги, что обуславливает невозможность использования импульсных режимов и низкую надежность при длинных соединительных кабелях (более 25 м от источника питания до подающего механизма), что в свою очередь накладывает серьезные технологические ограничения; снижение производительности сварочного процесса как минимум на 25 % из-за уменьшения времени свободного горения сварочной дуги и наличия значительного количества коротких замыканий.

Способ ВКЗ базируется на использовании источников сварочного тока с комбинированными внешними вольт-амперными характеристиками. Сущность использования таких характеристик заключается в том, что в зависимости от размера капли электродного металла и фазы перехода капли в сварочную ванну (рост капли, формирование перемычки между каплей и электродом, переход капли в ванну, разрыв перемычки) вольт-амперная характеристика может быть жесткой или падающей. При этом ограничивается мощность дугового разряда в момент разрыва перемычки и увеличивается напряжение холостого хода после разрыва перемычки и перехода капли в сварочную ванну для стабилизации сварочного процесса. Управление переносом проводится не по току, а по напряжению на дуге. Применение других тиристорных или инверторных источников (без специальных алгоритмов управления) не обеспечивает высокого качества сварного соединения при механизированной сварке из-за разброса размера капель электродного металла, хаотического перехода от процесса сварки длинной дугой к сварке короткой дугой, значительного разбрызгивания, низких сварочных свойств при изменении диаметра электродной проволоки и пространственного положения.

При течении процесса ВКЗ по сравнению с традиционным процессом сварки в среде CO_2 (рис. 6) с короткими замыканиями дугового промежутка значительно уменьшается время контакта капли электродного металла с дугой, уменьшается время горения дуги (на величину длительности коротких замыканий) и соответственно уменьшаются размеры сварочной ванны, процесс становится более гибким и регулируемым с технологической точки зрения.

Рассмотрим еще несколько технических решений, которые использует ряд ведущих фирм-производителей механизированного оборудования.

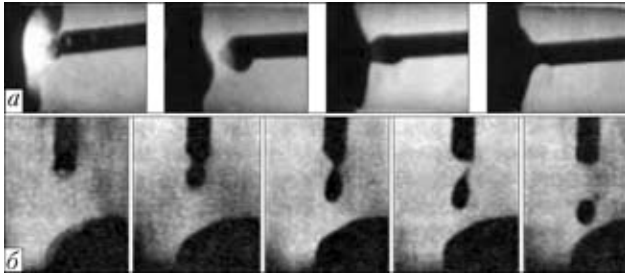


Рис. 6. Кинограммы процесса переноса электродного металла: а — процесс с ВКЗ; б — импульсно-дуговой процесс

Функция QSet — последняя разработка шведского концерна ESAB в области интеллектуальной цифровой сварки. Современная электроника позволяет разрабатывать программное обеспечение, помогающее сварщикам в управлении процессом сварки МИГ/МАГ. Достаточно одного нажатия кнопки QSet и нескольких секунд пробной сварки, чтобы автоматически установить все параметры короткой дуги — оптимальное соотношение между продолжительностью горения дуги и продолжительностью короткого замыкания, при котором достигается более эффективное использование дуги при той же частоте коротких замыканий. Такая процедура повторяется при изменении марки или диаметра проволоки и/или типа защитного газа. Аппарат сам находит оптимальные установки. Скорость подачи проволоки можно изменять в любое время при процессе сварки или между сварками. Если различная геометрия стыка, толщины материала или сварочные положения требуют различной скорости подачи, то устанавливаемые оптимальные сварочные параметры гарантируют стабильную короткую дугу, которая обеспечит высокое качество сварки. С помощью функции QSet устанавливается стабильный процесс сварки короткой дугой при различном вылете проволоки при изменении геометрии свариваемого изделия, что помогает сварщикам. Например, при сварке узких зазоров экономится время и на зачистке сварных швов, поскольку идеальная регулировка дуги сводит к минимуму образование брызг. На рис. 7 представлен источник сварочного тока типа Origo Mig C3000i со встроенной QSet-функцией.

Очень интересным решением, реализованным в оборудовании ESAB, является импульсный алгоритм управления, позволяющий в широком диапазоне влиять на соотношение времени «горение дуги—короткое замыкание», при одной и той же частоте переноса (рис. 8). Имеется также возможность изменять частоту коротких замыканий дугового промежутка путем изменения индуктивности дросселя. При этом с увеличением индуктивности дросселя частота коротких замыканий снижается. Это все достигается функцией QSet.



Рис. 7. Источник сварочного тока Origo Mig C3000i

Установки индуктивности дросселя, напряжения сварки и скорости подачи электродной проволоки, кроме обеспечения стабильности процесса, существенно влияют на тепловложение. При большей индуктивности увеличивается время горения дуги, уменьшается частота коротких замыканий и повышается тепловложение.

Рассмотрим способ управления дуговым процессом forceArc, разработанный компанией EWM (Германия). При механизированной сварке в среде защитных газов (инертный газ или смесь газов с высоким содержанием аргона) часто используется струйный процесс переноса электродного металла мелкими каплями без коротких замыканий. Это возможно при относительно большой длине дуги с высоким значением напряжения сварки, что не всегда эффективно на практике, так как из-за магнитного дутья дуга может отклоняться и, кроме того, могут возникать подрезы или поры, а также выгорание легирующих элементов. При укорачивании дуги в результате снижения напряжения сварки происходит увеличение длительности фаз короткого замыкания и усиление образования брызг.

Появление инверторной техники и современных цифровых систем управления дало возможность при очень короткой дуге с длинными фа-

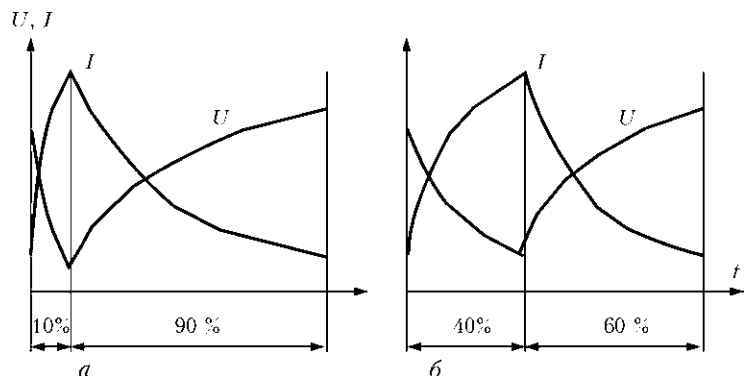


Рис. 8. Возможности управления временем короткого замыкания и горения дуги (а, б)

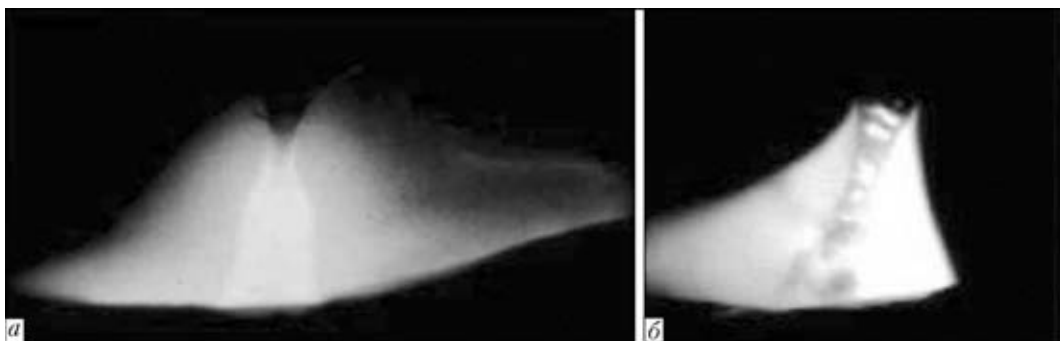


Рис. 9. Характерная картина горения дуги и переноса электродного металла при традиционном процесса МИГ (а) и при EWM-forceArc (б)

зами короткого замыкания быстро «вмешиваться» в процесс регулирования. Ток при возбуждении дуги снижают до достижения запрограммированного значения напряжения дуги. В результате заметно сокращаются длительности коротких замыканий, а образование брызг минимально. Переход электродного металла в шов носит струйный характер с мельчайшими каплями и практически без короткого замыкания. При дальнейшем снижении напряжения длина дуги будет сокращаться. Дуга горит в углублении расплавленного металла, возникающем под давлением потока плазмы. Меняется размер капель металла, переходящих в ванну — от мелко- до среднекапельного. Плотность следования капель друг за другом увеличивается до такого состояния, когда их цепочка образует кратковременный контакт с расплавом, что приводит к коротким замыканиям с увеличенным разбрызгиванием металла. На такой перенос воздей-

ствует алгоритм управления инверторных источников тока. В этом случае индуктивность настраивается с помощью электронной системы. При коротком замыкании ее можно полностью отключать (остается только индуктивность сварочных проводов). Поэтому увеличение и снижение тока в фазе короткого замыкания и при возбуждении дуги можно очень быстро регулировать. При этом образование брызг очень незначительное.

В качестве задающих параметров для процесса регулировки используют падение и увеличение напряжения. При этом непрерывно измеряется напряжение и соответствующим образом реагируется каждое его изменение (высокодинамичная регулировка мгновенных значений).

Такой тип управления с обеспечением струйного переноса в процессе сварки называется «EWM-forceArc». При этом можно обеспечить изменение тока и напряжения без существенного разбрызгивания.

Быстрая регулировка процесса позволяет вести сварку с длинным вылетом проволоки, что положительно влияет на шов при ограниченном доступе к нему (сложный доступ к месту сварки), однако при этом необходимо обеспечить достаточный расход защитного газа.

Горение дуги и перенос электродного металла при действии «EWM-forceArc» демонстрируют кадры высокоскоростной съемки на рис. 9.

Сварочный полуавтомат PHOENIX 500 EXPERT PULS, в котором реализовано управление процессом МИГ/МАГ сварки forceArc, приведен на рис. 10.

При использовании процесса forceArc могут быть достигнуты следующие результаты: повышенное проплавление за счет высокого давления плазмы в дуге; отсутствие подрезов как следствие очень короткой дуги; высокая экономичность благодаря высокой скорости сварки; лучшее качество шва в отношении зоны нагрева и коробления благодаря незначительному нагреву.

Известная австрийская фирма «Fronius» существенно расширила возможности СР-процесса, разработав СМТ — холодный перенос металла. Новизна этого способа управления состоит в методе



Рис. 10. Полуавтомат PHOENIX 500 EXPERT PULS

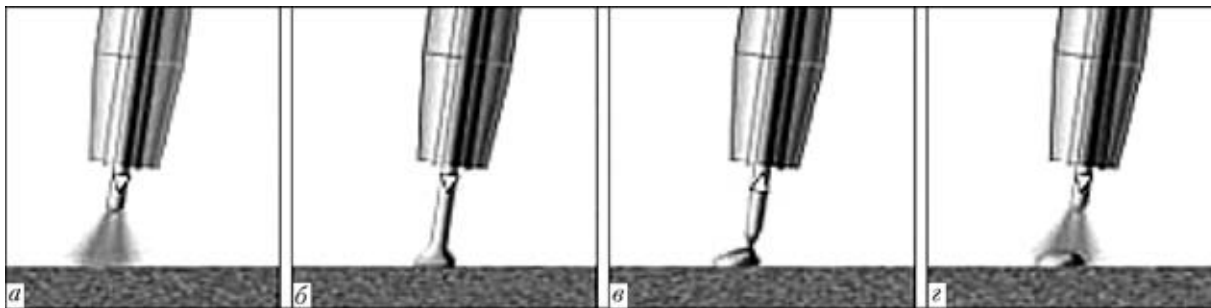


Рис. 11. Цикл переноса электродного металла при СМТ сварке: а, б, с — движение проволоки в зону горения дуги; в — реверсивное движение

отделения капли, при котором, помимо других особенностей, перенос металла относительно холодный по сравнению с обычными процессами. Используется не только подача проволоки в направлении сварочной ванны, но и обратное движение, т. е. электродная проволока подается вперед и в определенной фазе переноса капли реверсируется, способствуя переходу электродного металла в сварочную ванну. При этом используется инверторный источник сварочного тока, алгоритм управления которого сопряжен с движением электродной проволоки. Основные моменты цикла переноса электродного металла, обеспечиваемые реверсивным движением электродной проволоки, приведены на рис. 11.

Получение холодного переноса металла (СМТ) с программируемой работой механизма подачи приводит к процессу с новыми характеристиками. Становится возможным выполнение сварных и паяных швов практически без разбрызгивания, что позволяет избежать последующей дорогостоящей и затратной по времени механической обработки. Отличие процесса СМТ по сравнению с традиционными процессами дуговой сварки заключается в том, что перенос металла происходит при почти нулевом токе. При обычной сварке погруженной дугой ток значительно повышается в фазе короткого замыкания, а в процессе СМТ в этой фазе значение тока остается низким, при этом, несмотря на очень низкое значение тока в фазе короткого замыкания, отделение капли все равно возможно, так как этому способствует реверсивное движение проволоки, что можно объяснить поверхностным натяжением жидкого металла по аналогии с SST-процессом, получаемым за

счет управления параметрами источника сварочного тока.

Качество формирования швов (внешний вид, возможность сварки на весу без подкладок, небольшая зона термического влияния и др.) при сварке тонколистового металла при СМТ-процессе приведены на рис. 12.

Процесс позволяет регулировать тепловложение, что в свою очередь влияет на геометрию сварного шва. Комбинации процесса СМТ и импульсной дуги применяют при необходимости ускорения непровара сварного шва или увеличения скорости сварки. СМТ-процесс обеспечивает преимущества и при возбуждении дуги.

Следует заметить, что ряд фирм использует импульсное движение проволоки с достаточно высокими частотами (например, «MEGATRONIC», Дания) — частота в десятки герц, однако это лишь для случаев применения присадочных проволок.

Использование импульсной подачи электродной проволоки в оборудовании для сварки и наплавки, представленном на выставке в Эссене, ограничилось рассмотренными выше разработками фирмы «Fronius», суть которых заключается в том, что обычный алгоритм движения электродной проволоки с заданной скоростью, обеспечивающей интегральное значение скорости ее плавления, прерывается в нужное время реверсивным движением электрода обратно от изделия.

Проанализировав рассмотренные алгоритмы управления переносом электродного металла по типу SST, СМТ, можно прийти к заключению, что такие технологии практически не управляют переносом активным образом, как, например, это выполняется в импульсно-дуговом процессе [1],

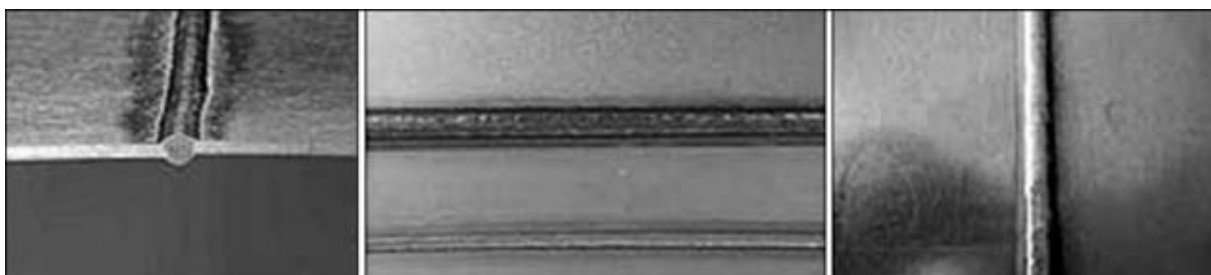


Рис. 12. Внешний вид сварных швов при использовании СМТ процесса



а лишь создают оптимальные (щадящие) условия для переноса, однако, не могут быть широко распространены, например, при сварке и наплавке порошковыми электродными проволоками.

Ряд алгоритмов управления переносом электродного металла с заданными параметрами предложен российскими исследователями [4]. Техническая реализация таких алгоритмов весьма сложна и реальных решений, которые могли быть основой для промышленного оборудования в этом направлении, не было предложено, хотя в исследованиях действительно были получены весьма интересные и перспективные результаты по реальному управлению переносом электродного металла. Исключение составляет механизм подачи с электромагнитным приводом и движителями — односторонними захватами. Такая система подачи сложно регулируема и ограничена как в периоде эксплуатации (ненадежность конструкций односторонних захватов), так и в типах электродных проволок (невозможно подать порошковую проволоку).

Регулирование параметров импульсной подачи можно считать основной задачей, которая во всех аспектах рассмотрена в работе [5].

В ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины также большое внимание уделяется системам импульсной подачи с односторонними захватами с электродвигателями и электромагнитами. Достигнуты определенные результаты. Создан ряд экспериментальных полуавтоматов, однако до промышленного внедрения работа не была доведена. В настоящее время, имея достаточно большой объем необходимых теоретических исследований по возможностям импульсной подачи электродной проволоки [6], разработана концепция построения механизмов импульсной подачи, которая основана на применении электродвигателей по двум основным направлениям:

с применением специальных преобразователей вращательного движения вала электродвигателя в импульсное движение подающих роликов и электродной проволоки;

с применением специальных быстродействующих электродвигателей и установкой подающего ролика непосредственно на валу электродвигателя.

Оба направления эффективны по регулированию параметров импульсов подачи, хотя в первом случае система имеет некоторые люфты, но достаточно дешева (дешевле обычных редукторных систем подачи). Система по второму направлению совершенна, управляема (в настоящее время до 70 Гц, в ближайшей перспективе более 100 Гц). С помощью этих систем можно действительно получить управляемый перенос электродного металла при использовании проволок различных конструкций и в достаточно широком диапазоне

способов и режимов дуговой сварки и наплавки. При этом в ИЭС им. Е. О. Патона разработан способ дуговой сварки с импульсной подачей, реализация которого практически гарантирует управление переносом с фазой короткого замыкания, при котором снижается уровень потерь электродного металла и затраты электроэнергии с получением швов, имеющих хорошую форму и товарный вид.

На рис. 13 представлены характерные осциллограммы скорости импульсной подачи электродной проволоки и напряжения сварки стали. Каждый перенос капли соответствует импульсу подачи при правильно подобранных параметрах импульсного движения электродной проволоки, а указанный перенос осуществляется в разных фазах импульсов для процессов сварки сталей и алюминия.

На рис. 14 представлены валики наплавленного металла из сплавов алюминия, полученные обычным механизированным процессом и процессом с импульсной подачей электродной проволоки. Очевидны отсутствие подрезов, регулярное формирование валиков при визуальном отсутствии включений при использовании процесса с импульсной подачей. Возможность получения качественного валика металла при наплавке на тонколистовой металл показана на рис. 15.

Выявление особенностей переноса электродного металла при сварке с импульсной подачей дает возможность сформулировать требования еще к одному способу управляемого переноса: с одновременным использованием механизма импульсной подачи и импульсного источника сварочного тока. Это направление практически реализовано в ИЭС им. Е. О. Патона [7]. Такой способ принудительного управления переносом

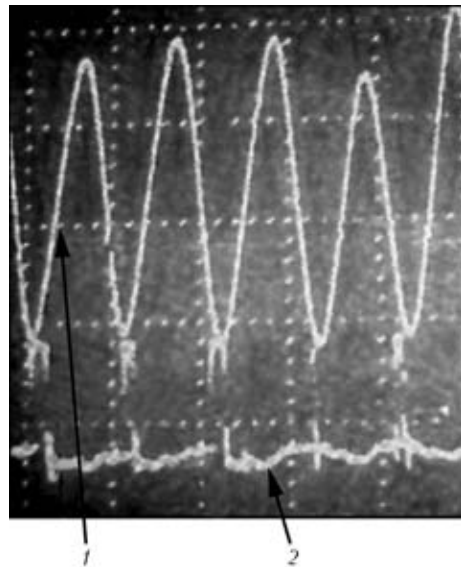


Рис. 13. Осциллограммы скорости подачи проволоки 1 и напряжения 2 при сварке стали (проволока Св-08Г2 диаметром 1,2 мм; напряжение сварки 21...22 В; ток сварки 120 А)

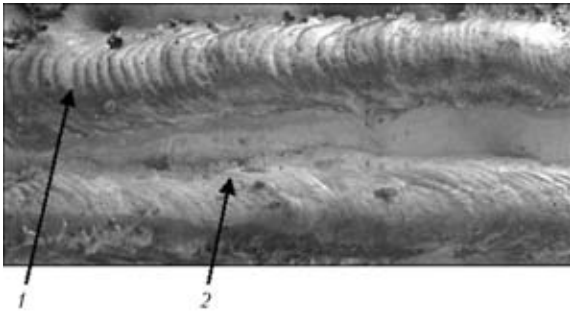


Рис. 14. Наплавка на пластины из сплавов алюминия: с импульсной подачей электродной проволоки (1) и обычной (2)

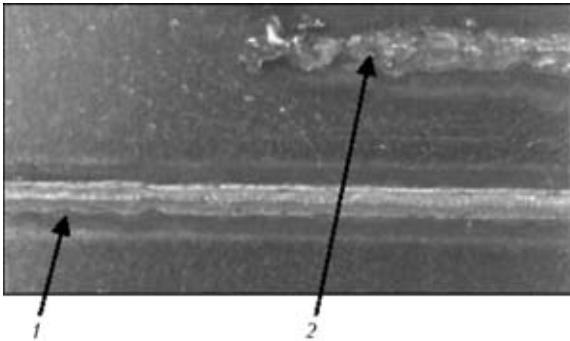


Рис. 15. Наплавка на тонколистовые (толщина 1,2 мм) стальные пластины с импульсной подачей электродной проволоки (1) и обычной (2)

дает очень хорошие результаты при незначительных затратах энергии на формирование импульса от импульсного источника (в 3...5 раз ниже, чем в импульсно-дуговом процессе при сварке алюминия). Однако до настоящего времени этот способ был трудноосуществим из-за ряда специальных требований к механизму импульсной подачи. Наличие в ИЭС им. Е. О. Патона разработки нового типа полностью управляемых импульсных механизмов подачи на основе специальных конструкций компьютеризированных вентильных электродвигателей делают возможным промышленную реализацию управления переносом с вли-

янием на каплю двух источников импульсных воздействий, работающих по определенному алгоритму.

В заключение можно констатировать, что одним из основных направлений в совершенствовании оборудования для механизированных способов сварки и наплавки является обеспечение возможности эффективного управляемого переноса электродного металла. При этом наивысшего эффекта можно достичь, используя совершенные источники сварочного тока инверторного типа с компьютеризированными системами управления и регулирования («Lincoln Electric», «Fronius», «CLOOS» и др.), а также результаты теоретических изысканий и разработок систем импульсной подачи электродной проволоки, проводимых в Украине и России.

1. *Потаповский А. Г.* Сварка в защитных газах плавящимся электродом. — М.: Машиностроение, 1974. — 240 с.
2. *Воропай Н. М., Илюшенко В. М., Ланкин Ю. Н.* Особенности импульсно-дуговой сварки с синергетическим управлением параметрами режимов (Обзор) // Автомат. сварка. — 1999. — № 6. — С. 26–32.
3. *Особенности современных установок для механизированной сварки плавящимся электродом в защитных газах / М. В. Карасев, Е. М. Вышемирский, В. И. Беспалов, Д. Н. Работинский* // Там же. — 2004. — № 12. — С. 38–41.
4. *Брунов О. Г., Федько В. Т., Слестин А. П.* Разновидности способов импульсной подачи сварочной проволоки для сварки плавящимся электродом в CO_2 // Свароч. пр-во. — 2002. — № 11. — С. 58.
5. *Лебедев В. А., Пичак В. Г., Смолярко В. Б.* Механизмы импульсной подачи электродной проволоки с регулированием параметров импульсов // Автомат. сварка. — 2001. — № 5. — С. 31–37.
6. *Лебедев В. А., Пичак В. Г.* Механизированная дуговая сварка в CO_2 с регулируемой импульсной подачей электродной проволоки // Свароч. пр-во. — 1998. — № 5. — С. 30–33.
7. *Патон Б. Е., Лебедев В. А., Микитин Я. И.* Способ комбинированного управления процессом переноса электродного металла при механизированной дуговой сварке // Там же. — 2006. — № 8. — С. 27–32.

Assessment of modern developments of mechanized equipment for consumable electrode welding and surfacing was performed. It is shown that modern technical solutions involve control of electrode metal transfer as the main means of improvement of mechanized arc processes. Examples of realization of electrode metal transfer control are given.

Поступила в редакцию 18.12.2009