

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СВАРОЧНОГО ПРОЦЕССА STT

Создание сварочных систем, способных управлять переносом капли за счёт изменения формы сварочного тока, является стратегически приоритетным направлением исследовательской деятельности и практических разработок компании Линкольн Электрик в области полуавтоматической сварки. По мнению специалистов компании, несмотря на почти вдвое большую стоимость таких систем по сравнению с оборудованием традиционного типа, в условиях жёстких и постоянно растущих требований к качеству сварных соединений их использование экономически более целесообразно. Это подтверждается заметным ростом интереса к такому оборудованию со стороны представителей различных отраслей промышленности.

Сварочный процесс STT (сокращение от английского термина "Surface Tension Transfer" - перенос за счёт сил поверхностного натяжения) был разработан компанией Линкольн Электрик в результате активных исследований в области управляемого переноса металла при сварке. Подобные разработки велись и ранее специалистами разных стран мира, в том числе и России. В частности, коллективы лаборатории импульсных технологий сварки и наплавки Томского Института физики прочности и материаловедения и фирмы "Импульс-С" достигли определённых успехов в области оптимизации процесса переноса металла при сварке. Ими созданы тиристорные постовые регуляторы, модифицирующие выходную мощность сварочных источников питания и оптимизирующие процесс переноса электродного металла как при ручной сварке штучными электродами, так и при полуавтоматической сварке сплошной проволокой.

Важной предпосылкой для реализации идеи управляемого переноса является наличие соответствующего инструмента – быстродействующего инверторного сварочного источника, способного получать, обрабатывать информацию, а так же управлять выходными параметрами на всех фазах формирования капли и её перехода в сварочную ванну. Такой источник может быть построен только на основе транзисторного инвертора, но создание его ещё не означает решения всей задачи, так как промышленное использование сварочного источника и философия фирмы Линкольн Электрик требует высокой надёжности последнего. Все это потребовало длительных исследований и инвестиций. С момента получения патента в 1988 году до выпуска на рынок первой промышленной модели источника, реализующего этот процесс, прошло 10 лет. Invertec STT стал первым в номенклатуре Линкольна источником питания, отражающим принцип управления формой сварочного тока. Несмотря на то, что служба маркетинга компании рекомендовала новый аппарат в первую очередь для снижения разбрызгивания и тепловложения при сварке сталей малых толщин, появление Invertec STT вызвало интерес у представителей производств различного профиля.

Описание процесса

Традиционный и наиболее широко применяемый метод полуавтоматической сварки предполагает использование источника питания с жёсткой вольтамперной характеристикой, сплошной сварочной проволокой и углекислого газа в качестве защитного. Оборудование обеспечивает установку сварочного напряжения и скорости подачи проволоки - эти два параметра сварочного режима, в конечном счете, определяют качество получаемого сварного соединения. При этом в достаточно широком диапазоне сварочных режимов устанавливается так называемый "процесс переноса наплавляемого металла сериями коротких замыканий". Источник питания, выходное напряжение которого не зависит от величины протекающего в сварочном контуре тока, каждый раз стремится восстановить дуговой промежуток между сварочной ванной и подаваемой проволокой, самопроизвольно закорачиваемый с определенной частотой. В процессе переноса металла имеет место хаотичный характер изменения сварочного напряжения и тока. Процесс отделения образуемой на торце электрода капли расплавленного металла и её переход в сварочную ванну происходит при высоком уровне сварочного тока. Это обуславливает определённую нестабильность процессов, происходящих в дуговом промежутке, и характерное разбрызгивание при сварке.

Процесс STT – преемник обычного процесса полуавтоматической сварки в среде защитного газа, реализующего метод переноса короткими замыканиями. Однако STT принципиально отличается от него возможностью прямого управления условиями переноса наплавляемого металла в сварочную ванну. Эта возможность обеспечивается быстродействующей инверторной схемой

источника питания, специальным электронным микропроцессорным модулем, принудительно задающим необходимый уровень сварочного тока, и контуром обратной связи, динамично отслеживающим изменения напряжения на дуге. В течение всего цикла переноса капли в сварочную ванну величина сварочного тока жёстко зависит от фазы формирования и перехода последней. Идентификация фазы переноса осуществляется за счёт обработки величины напряжения, постоянно снимаемого с дугового промежутка.

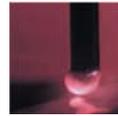
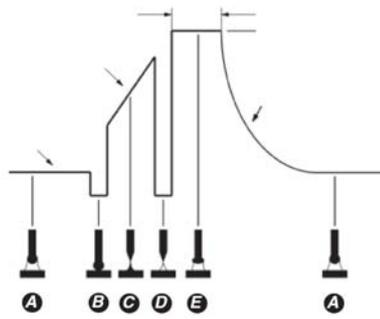
Чтобы лучше представить этот процесс, необходимо перечислить свойства дуги в режиме переноса металла короткими замыканиями. Традиционная электродуговая сварка сплошной проволокой, использующая метод переноса наплавляемого металла короткими замыканиями, применяется, главным образом, в условиях производства, где требуется средняя или низкая тепловая мощность дуги. Этот сварочный процесс обеспечивает выполнение швов во всех пространственных положениях и не требует от сварщика очень высокого мастерства. Перед сваркой необходимо указать скорость подачи проволоки и средний уровень напряжения, задающего тепловую мощность сварочной дуги. При выборе значений сварочных параметров учитываются такие факторы, как толщина детали и тип материала, тип соединения, диаметр и тип электрода, скорость перемещения дуги и вид защитного газа. Сварка короткими замыканиями отличается интенсивным разбрызгиванием металла. Причиной разбрызгивания служит высокий ток, возникающий при контакте (коротком замыкании) электрода и основного металла в так называемый "период пинч-эффекта". Капля жидкого металла между электродом и изделием выполняет функцию плавкой перемычки, при плавлении которой часть металла переходит в сварочную ванну, а часть разлетается вокруг. Этот процесс повторяется почти сто раз в секунду, и всё это время источник пытается обеспечить заданное сварочное напряжение. От возможностей источника зависит, насколько удачно он будет управлять процессом сварки, и какого качества швы получатся при этом.

При аргонодуговой сварке неплавящимся электродом высококвалифицированный сварщик может очень точно регулировать уровень сварочного тока при помощи регулятора ручного или педального типа, позволяющего изменять значение тока в режиме реального времени. Этот режим сварки отличается очень низкой скоростью наплавки присадочного металла, однако обеспечивает высокую прочность шва при очень низком уровне разбрызгивания металла. Новый способ сварки – методом переноса металла за счёт сил поверхностного натяжения (STT) – сочетает в себе лучшие качества аргонодуговой сварки и дуговой сварки короткими замыканиями. Процесс STT можно назвать усовершенствованным способом аргонодуговой сварки в режиме переноса металла сериями коротких замыканий.

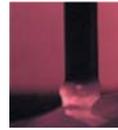
Разработчикам этого метода удалось создать технологию высокоскоростного управления сварочным током, которая позволяет в считанные микросекунды отстроить величину сварочного тока, необходимую для реализации процесса переноса металла силами поверхностного натяжения. При этом гарантируется получение качественного шва с низким уровнем разбрызгивания. В основе метода лежит идея Додсона о возможности управлять сварочным током независимо от скорости подачи проволоки. Эта технология позволяет увеличивать и уменьшать величину сварочного тока, не изменяя количество присадочного металла, вносимое в сварочную ванну в единицу времени. Из названия сварочного процесса STT (сокращение от английского термина Surface Tension Transfer – перенос за счёт сил поверхностного натяжения) следует, что данная технология позволяет отслеживать и управлять силами поверхностного натяжения в капле жидкого металла на всех фазах её формирования и перехода в сварочную ванну. Для этих целей используется быстродействующий инвертор, динамично управляющий величиной и формой эпюры сварочного тока в течение всего цикла, пока электрод закорочен на сварочную ванну. Эта уникальная технология получила название Waveform Control Technology™ (Технология регулировки эпюры сварочного тока).

Настройка величины и формы эпюры сварочного тока с помощью источника, использующего технологию STT, позволяет оптимизировать свойства дуги в соответствии с требованиями каждой конкретной задачи сварки. При этом учитываются такие факторы, как тип соединения, толщина детали и тип материала, диаметр и тип электрода, скорость перемещения дуги и вид защитного газа. После указания всех этих параметров источник создаёт сварочную дугу, оптимизированную для заданных условий сварки. Таким образом, данную технологию можно использовать в самых разных целях.

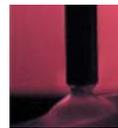
Рассмотрим подробнее влияние основных параметров сварочного режима на процессы, происходящие в дуговом промежутке. Как уже было отмечено, перенос наплавляемого металла происходит сериями коротких замыканий. Каждое замыкание проволоки в сварочную ванну - цикл переноса - удобно разбить на несколько характерных этапов:



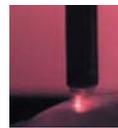
A. Подготовка капли жидкого металла на конце электрода к моменту короткого замыкания. Сварочный ток поддерживается на базовом уровне.



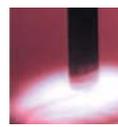
B. В момент замыкания капли на сварочную ванну источник понижает ток ниже базового уровня, чтобы предотвратить преждевременный отрыв капли и не допустить разбрызгивание металла.



C. После кратковременной задержки источник резко повышает ток, что приводит к стремительному росту электромагнитных сил сжатия жидкой перемычки и образования на ней шейки (пинч-эффект). На второй стадии пинч-эффекта повышение тока производится более плавно. Источник готовится к разрушению шейки и отделению капли от электрода. Контур обратной связи отслеживает изменение напряжения в единицу времени, что соответствует изменению поперечного сечения шейки.



D. Когда шейка готова к разрушению, источник прекращает плавное наращивание тока и резко снижает его до уровня ниже базового тока. В этот момент силы поверхностного натяжения уменьшаются, и капля переходит в сварочную ванну. Под контролем сварочного источника отделение капли происходит без разбрызгивания.



E. Источник увеличивает ток до пикового уровня. Начинается формирование новой капли. Одновременно усиливается давление дуги на сварочную ванну, вызывая её сжатие, что препятствует слиянию капли с поверхностью сварочной ванны.



F. Плазменный столб дуги создаёт энергию, необходимую для роста новой капли. Давление дуги препятствует слиянию капли с поверхностью сварочной ванны. Длительность действия пикового тока, как правило, устанавливается равной 1 мс для электродов из углеродистых сталей и 2 мс для электродов из нержавеющей и никелевых сталей.

G. После того как сформирована капля необходимого объёма, источник понижает ток до базового уровня по экспоненциальному закону. Это приводит к увеличению тепловложения в сварочную ванну без изменения длины дуги, что способствует улучшению сплавления с основным металлом и позволяет повысить скорость сварки. Корневые проходы при сварке трубопроводов выполняют с установкой регулятора скорости снижения тока на минимальное значение.

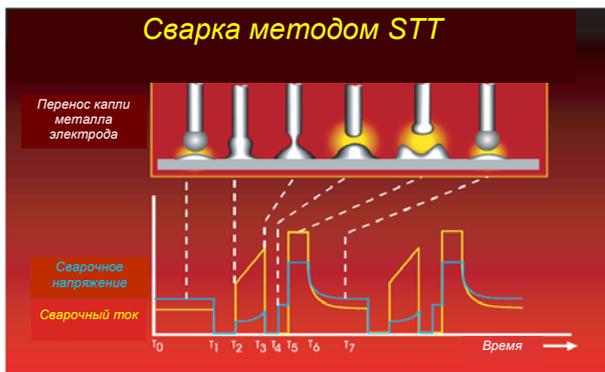


Рис. 1 Формы кривых сварочного тока и напряжения при полуавтоматической сварке методом STT.

Подготовка капли (T7-T0-T1). Продолжительный этап действия базового тока на уровне 50 – 100 А и подготовка капли к моменту короткого замыкания. На этом этапе под действием сил поверхностного натяжения форма капли приближается к правильной сфере, создавая тем самым благоприятные условия для плавного объединения со сварочной ванной. Управление величиной базового тока несёт в себе две основные функции. Во-первых, он должен обеспечить дугу количеством энергии, достаточным для преодоления потерь на излучение и поддержание определенного объёма расплавленной на конце электрода капли. Если базовый ток слишком

низок, это приводит к кристаллизации верхней части капли и уменьшению её объёма. Более того, это может привести даже к полной кристаллизации капли и, как следствие, к нестабильности всего процесса и утыканиями проволоки в дно сварочной ванны. Во-вторых, от уровня базового тока зависит степень общего разогрева свариваемого изделия. Действие базового тока похоже на влияние сварочного напряжения при обычной полуавтоматической сварке. При повышении обоих параметров сварочный шов теряет выпуклость, приобретает более низкую и плавную форму. Это происходит за счёт увеличения разогрева зоны дуги и повышения текучести металла. Однако, увеличение базового тока более 120 А приводит к значительному повышению разбрызгивания. Оптимальная величина базового тока зависит от типа защитного газа (понижается с переходом на смеси аргона), материала, диаметра и скорости подачи сварочной проволоки. Установка оптимального для тех или иных условий базового тока в процессе работы, а именно его соответствие заданной скорости подачи проволоки, имеет принципиальное значение для качества всего соединения.

Начальный период короткого замыкания (T1-T2). В момент T1 происходит замыкание капли на сварочную ванну. Если при этом величина сварочного тока составляет 150 – 200 А, как в случае с обычным полуавтоматическим процессом, капля мгновенно отрывается, обычно разрушаясь и разлетаясь в стороны, что приводит к разбрызгиванию. Кроме того, ток такой величины, пытаясь пройти через узкую перемычку, образовавшуюся между каплей и ванной, приводит к выплеску металла. При действии источника STT образование контакта происходит при значительно более низком уровне сварочного (базового) тока, что исключает эти негативные явления. Капля спокойно залипает на сварочную ванну, образуя пятно контакта. Датчик контура обратной связи источника питания Invertex STT в момент T1 подает микропроцессору сигнал о возникновении короткого замыкания (напряжение упало до значения, близкого к нулю), источник понижает ток с базового уровня до 10 А на время 0,75 миллисекунд. В течение этого времени происходит развитие пятна контакта, вращение капли в сварочную ванну и образуется надёжная перемычка между ванной и электродной проволокой.

Период пинч-эффекта (T2-T3). Пинч-эффектом называют возникновение вокруг электрического проводника центростремительных сжимающих сил, пропорциональных квадрату протекающего по проводнику тока. Строго говоря, этот эффект присутствует в сварочном контуре всегда, когда сварочный ток не равен нулю. Однако только на рассматриваемом этапе влияние пинч-эффекта на перенос наплавляемого металла в сварочную ванну имеет принципиальное значение. По истечении времени действия начального периода короткого замыкания (0,75 мс, момент T2) микропроцессор резко повышает величину сварочного тока. На этой короткой первой стадии происходит стремительный рост электромагнитных сил осевого сжатия жидкой перемычки и образование на ней шейки. Уровень, до которого источник повышает ток на первой стадии, зависит от диаметра применяемой проволоки (повышается с увеличением диаметра) и устанавливается сварщиком с помощью двухпозиционного тумблера на лицевой панели аппарата. На второй стадии пинч-эффекта повышение сварочного тока происходит значительно более плавно. Источник "готовится" к моменту разрушения шейки и отделения капли от электродной проволоки. Необходимо отметить, что во время короткого замыкания напряжение между электродной проволокой и сварочной ванной не равно нулю, поскольку при температуре плавления (1550°C) металл имеет высокое электрическое сопротивление. Образование шейки связано с уменьшением поперечного сечения перемычки и ростом электрического сопротивления этого участка проводника. На этой стадии снова вступает в действие контур обратной связи, снабжающий микропроцессор информацией о сварочном напряжении. Скорость изменения сопротивления определяется косвенно путем последовательных замеров изменения напряжения в единицу времени. Когда эта скорость достигает определенного значения, источник получает от датчика напряжения дуги сигнал, свидетельствующий о том, что шейка готова к разрушению (момент T3). В этот момент источник прекращает плавное наращивание тока и резко снижает его до уровня порядка 5 А.

Отделение капли от проволоки (T4). Капля металла отделяется при низком значении сварочного тока. Отделение капли (момент T4) происходит без разбрызгивания, присущего традиционному полуавтомату с жёсткой внешней характеристикой. Силы поверхностного натяжения уже слитых воедино капли и ванны "втягивают" каплю вглубь, формируя сварочный шов.

Рост новой капли (T5-T6). В течение всего этого этапа действует, так называемый, пиковый уровень сварочного тока, устанавливаемый сварщиком на лицевой панели аппарата. После отделения капли от электродной проволоки дуговой промежуток восстанавливается и резко повышается напряжение. Для продолжения процесса необходимо быстро сформировать новую каплю на торце электрода. С этой целью источник питания, получая сигнал о восстановлении дуги,

мгновенно повышает ток до пикового уровня и наращивает плазменный столб. Пиковое значение тока определяет скорость нарастания плазмы и увеличения дугового промежутка. На торце электрода формируется расплавленная капля. Одновременно с этим усиливается давление дуги на сварочную ванну, вызывая её сжатие и ещё большее удлинение дуги. Утонение жидкой прослойки под дугой приводит к увеличению глубины проплавления. Оптимальная длительность действия пикового тока устанавливается процессором в диапазоне 1 - 2 мс. Его действие в течение более длительного периода может привести к значительному увеличению разбрызгивания вследствие слишком большого объёма образуемой капли. Таким образом, пиковый ток непосредственно влияет на длину дуги и обеспечивает необходимое проплавление. Уровень пикового тока довольно высок - чаще всего порядка 350 – 400 А. На таком токе обычный полуавтомат мог бы вести сварку проволокой диаметром 1,2 мм на скоростях сварки порядка 5 м/мин. Однако, в случае STT такой высокий уровень тока действует только после отделения капли и её переноса в ванну, что значительно повышает качество сварного шва.

Переход на базовый ток (Т6-Т7). После окончания действия пикового тока, когда создана капля необходимого объёма, источник экспоненциально понижает ток до базового уровня. Резкое снижение тока в данном случае неприемлемо, поскольку мгновенный сброс действия дуги может привести к возникновению возмущений. При работе с последней версией аппарата - Invertec STT II - сварщик имеет возможность регулировать скорость снижения тока на этом этапе специальной рукояткой на лицевой панели источника (функция Tailout), достигая при этом наибольшей стабильности процесса сварки и наилучшей формы сварного шва. Кроме того, замедление падения тока приводит к увеличению общего тепловложения в сварочную ванну без изменения длины дуги, что важно, например, при сварке высоколегированных и нержавеющей сталей. Повышение тепловложения способствует улучшению сплавления с основным металлом и позволяет повысить скорость сварки. С переходом тока на базовый уровень вновь созданная капля начинает приобретать правильную сферическую форму и весь цикл переноса повторяется.

Сварочный аппарат STT

Сварочный источник питания, реализующий процесс STT, нельзя причислить ни к источникам с падающими вольтамперными характеристиками, ни к источникам с жёсткими характеристиками. Правильнее считать его источником питания, с высокой скоростью управляющим сварочным током. В зависимости от процессов, происходящих на дуге, аппарат позволяет в считанные микросекунды отстроить величину сварочного тока, необходимую для реализации процесса переноса металла силами поверхностного натяжения. Кроме того, он предназначен для полуавтоматической сварки, при которой изменяется скорость сварки и вылет электрода. Аппарат работает в режиме сварки сериями коротких замыканий. Области его применения в целом аналогичны тем, что характерны для обычных аппаратов полуавтоматической сварки короткими замыканиями. В качестве защитных газов используется 100% углекислый газ и его смеси с аргоном для сварки низкоуглеродистых сталей, а также смеси с гелием для сварки нержавеющей сталей.

Как было отмечено выше, в настоящее время для реализации описанного процесса используется сварочный источник марки Invertec STT II. Его нельзя отнести ни к одной группе аппаратов для сварки с традиционными вольтамперными характеристиками. Правильнее считать его источником с высокоскоростным управлением величиной сварочного тока, оптимизированным специально для переноса сериями коротких замыканий. Как и традиционный сварочный полуавтомат, система на базе Invertec STT II состоит из собственно источника питания, блочно независимого механизма подачи сварочной проволоки с комплектом соответствующих контрольных и силовых кабелей и стандартной горелки для полуавтоматической сварки серии Magnit на 200 или 300 Ампер. В качестве механизма подачи рекомендуется использование устанавливаемого на общую с источником колесную тележку механизма марки STT-10 или переносного марки LF-37. Кроме того, стандартная комплектация источника питания включает специальный раздвоенный провод длиной до 15 м, предназначенный для организации контура обратной связи от сварочной дуги к источнику питания. Одна из линий контура закрепляется на токоподводе механизма подачи, а другая с помощью небольшого зажима закрепляется на свариваемой детали.

В процессе подбора режима сварщик должен установить необходимую скорость подачи проволоки, определяющую производительность наплавки, и выполнить ряд облегчающих работу и понижающих вероятность образования дефектов функциональных установок. К таковым относятся: 2-х/4-х шаговый режим работы, точечный режим, скорость подачи проволоки до зажигания дуги, ускорение при переходе на рабочую скорость, длительность предварительной и послесварочной подачи защитного газа, длительность задержки между прекращением подачи и

сбросом сварочного потенциала. Все эти установки выполняются на механизме подачи проволоки один раз перед началом работы. Настройка источника питания Inverter STT II выглядит иначе, чем у обычного полуавтомата с жёсткой характеристикой. Поскольку процесс сварки полностью подконтролен микропроцессору, сварщик лишь задаёт параметры и форму токовых импульсов, возникающих в контуре при переносе капли: устанавливается величина базового (0 - 125 А), пикового (0 - 450 А) токов, а также длительность заднего фронта импульса роста капли. Кроме того, перед началом работы простым переключением двух тумблеров источник настраивается на материал свариваемого изделия (углеродистая / нержавеющая сталь) и диаметр используемой сварочной проволоки (1,0 мм и менее / 1,2 мм и более). Функция "горячего старта", традиционно присутствующая на аппаратах инверторного типа производства Линкольн Электрик, поможет сварщику достичь качественного зажигания дуги и обеспечит хорошее проплавление в начале шва.

Сравнение сварочного процесса STT с обычным способом электродуговой сварки сплошной проволокой в среде защитных газов

На рисунках 1 и 2 представлены диаграммы кривых тока и напряжения, характерные для традиционного полуавтомата и источника STT.

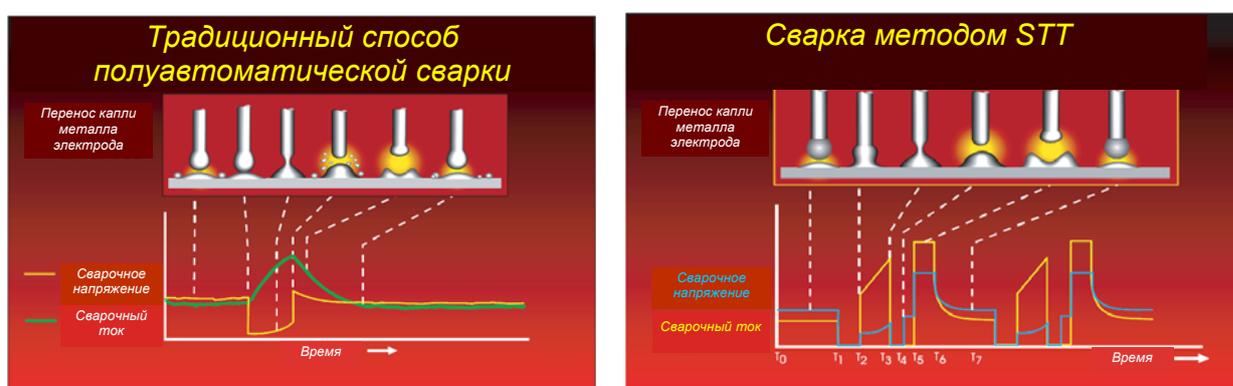


Рис. 2 Типичные формы кривых сварочного тока и напряжения при традиционном способе полуавтоматической сварки и при полуавтоматической сварке методом STT.

Чтобы ещё лучше понять принцип действия сварочного процесса STT, сравним его с обычной электродуговой сваркой сплошной проволокой в среде защитных газов. Традиционная сварка проволокой методом переноса металла короткими замыканиями сопровождается сильным разбрызгиванием металла и интенсивным дымообразованием при переносе капель с электрода в сварочную ванну на токах, сопоставимых с уровнем пикового тока в режиме STT (см. рис. 2). Высокая степень разбрызгивания связана с тем, что в момент отделения капли величина тока относительно велика, и это приводит к выплеску металла (Dodson).

На рис. 2 представлены диаграммы кривых тока и напряжения, характерные для обычного полуавтомата и источника STT (Stava, 2001). Каждый цикл переноса при традиционной полуавтоматической сварке можно разбить на шесть этапов:

1. При подготовке капли сварочный ток и напряжение остаются на постоянном уровне.
2. В момент замыкания электрода на сварочную ванну напряжение резко падает, а ток начинает расти. Следующие два этапа обычной сварки отличаются от аналогичных стадий процесса STT тем, что источник STT обеспечивает точное управление формой и величиной эпюры сварочного тока.
3. Капля образует пятно контакта со сварочной ванной и перетекает в неё. На этом этапе напряжение практически равно нулю, а ток очень быстро увеличивается.
4. Резкое увеличение тока приводит к мгновенному отрыву капли, сопровождающемуся выплеском металла с интенсивным дымообразованием. В режиме STT эти негативные явления отсутствуют.
5. После отделения капли напряжение и ток снижаются до прежнего уровня.
6. Процесс повторяется сначала.

Особенно существенны различия двух рассматриваемых процессов при сварке трубопроводов. Режим полуавтоматической сварки на жёсткой ВАХ, стандартно применяемый при соединении трубопроводов, не обеспечивает прямого регулирования сварочного тока. Вместо этого традиционный полуавтомат с жёсткой внешней характеристикой контролирует среднее значение напряжения. В результате в определённых случаях возможен подъём температуры или

увеличение текучести сварочной ванны до такого уровня, когда внутренний шов "втягивается" в корневой слой, образуя "подрез". Кроме того, при традиционной полуавтоматической сварке сплошной проволокой в режиме коротких замыканий сварщик должен вести дугу по переднему краю сварочной ванны, чтобы обеспечить необходимую глубину проплавления и прочность наплавки. Отставание дуги ведёт к неполному проплавлению основного металла. При вынесении дуги слишком далеко вперёд сварка сопровождается "постреливанием" при замыкании электрода на сварочную ванну через воздушный зазор, что вызывает образование с внутренней стороны трубы наплывов типа "усов". В Таблице 1 представлены результаты сравнения полуавтоматической сварки сплошной проволокой и сварочного процесса STT.

Таблица 1 Сравнение полуавтоматической сварки сплошной проволокой и сварочного процесса STT

	Полуавтоматическая сварка сплошной проволокой	STT
Метод переноса металла	Перенос металла короткими замыканиями	Перенос металла сериями коротких замыканий под контролем уровня напряжения и тока
Диапазон напряжений	16 – 22 В	16 – 22 В
Диапазон токов	Низкий уровень тока: от 30 А до 200 А	Два уровня тока: • Пиковый ток (от 0 А до 450 А) • Базовый ток (от 0 А до 125 А)
Диаметр электрода	Электроды малого диаметра (от 0,60 мм до 1,10 мм) (от 0,025 до 0,045 дюймов)	Электроды большего диаметра (от 0,035 до 0,045 дюймов)
Защитный газ	<ul style="list-style-type: none"> • 100% CO₂ (самый дешёвый) • Газовая смесь (75% Ar, 25% CO₂) 	<ul style="list-style-type: none"> • 100% CO₂ (самый дешёвый) • Состав газовой смеси подбирается сварщиком для конкретной задачи
Преимущества	<ul style="list-style-type: none"> • Сварка в любых пространственных положениях • Низкая стоимость 	<ul style="list-style-type: none"> • Низкий уровень тепловложения • Контроль тепловложения • Сварка в любых пространственных положениях • Устранение недостатков плохой сборки стыка • Минимальный уровень разбрызгивания • Возможность использования проволоки большего диаметра • Минимальное дымообразование • Низкая стоимость защитного газа • Отличное проплавление
Ограничения	<ul style="list-style-type: none"> • Высокий уровень разбрызгивания • Опасность непровара • Ограничение толщины свариваемых деталей 	<ul style="list-style-type: none"> • Более дорогостоящее оборудование • Только оптимизированный метод сварки сериями коротких замыканий
Стоимость	\$3,000	\$6,000
Обучение/ Квалификация	одного уровня	одного уровня
Материал	<ul style="list-style-type: none"> • Углеродистые и низколегированные стали • Гальванизированные/оцинкованные стали • Нержавеющие стали и никелевые сплавы • Кремнистая бронза и медные сплавы 	<ul style="list-style-type: none"> • Углеродистые и низколегированные стали • Гальванизированные/оцинкованные покрытия (с обратной стороны шва покрытие не нарушено) • Нержавеющие стали и никелевые сплавы (при значительно более низком уровне разбрызгивания) • Кремнистая бронза и медные сплавы
Применение	<ul style="list-style-type: none"> • Автомобильная промышленность • Пищевая и химическая обрабатывающая промышленность • Потребительские товары 	<ul style="list-style-type: none"> • Автомобильная промышленность • Трубы и сосуды высокого давления • Электроэнергетика • Пищевая и химическая обрабатывающая промышленность • Потребительские товары из тонкого листового металла

Преимущества процесса STT по сравнению с обычной полуавтоматической сваркой короткими замыканиями:

- Скорость сварки корня при STT в четыре раза выше скорости обычной ручной дуговой сварки.
- Возможно выполнение вертикальных швов на спуск.
- Выполняется сварка нержавеющей, никелевых и углеродистых сталей.
- Значительно реже возникает непровар.
- Сварка выполняется под строгим контролем сварочной ванны.
- Высокое качество сварных швов подтверждается рентгенографическим методом.
- Сокращается время обучения сварщиков.
- Сварка отличается низким уровнем разбрызгивания и дымообразования.
- В качестве защитной газовой среды используются газовые смеси разного состава.
- Возможно применение 100% CO₂ (при сварке углеродистых сталей).

Процесс STT основан на принципиально новом технологическом подходе к оборудованию для сварки и выполняемым им задачам. При внешней схожести с традиционной полуавтоматической сваркой, сказанное выше о работе систем с технологией STT убеждает в наличии большого количества отличий, имеющих важное прикладное значение, в частности, для решения вопроса создания качественного корневого шва при сварке труб различного диаметра.

Корневой шов - главная составляющая всего соединения. Качество и производительность при выполнении корневого шва определяет темп строительства всей магистрали. На сегодняшний день существуют и активно применяются на практике несколько традиционных способов создания корневого шва методом дуговой электросварки. К ним относятся: ручная сварка корня покрытыми электродами с основным и целлюлозным типом покрытия, а также автоматическая сварка корня сплошной проволокой в среде защитного газа головками, расположенными внутри трубы. Последний метод является наиболее производительным и дорогостоящим, и требует дополнительных затрат на переточку заводской кромки трубы под сварку изнутри. Процесс STT способен устранить этот недостаток. Теплофизические свойства дуги и сварочной ванны, характерные для процесса переноса металла за счёт сил поверхностного натяжения, позволяют вести сварку корня снаружи с получением гарантированного проплавления и обратного валика требуемых размеров во всех пространственных положениях. При этом процесс STT способен, при определенном навыке сварщика, в достаточно больших пределах обрабатывать изменения параметров разделки. Исследования, проведенные в 1999 году в Центре сварки и испытаний трубопроводов АО "ВНИИСТ" показали, что процесс справляется с задачей сплавления кромок и создания обратного валика при увеличении ширины разделки до 4,0 мм и смещении кромок до 3,0 мм даже в потолочном положении.

Другим достоинством метода STT при выполнении корневого прохода на трубах большого диаметра является размер наплавляемого шва. За один проход наплавляется слой металла, соответствующий двум проходам (корневому и горячему) при использовании электродов с целлюлозным типом покрытия (см. рис. 3). Во-первых, это обстоятельство ощутимо сокращает время сварки. Во-вторых, позволяет вывести внутренний центратор сразу после сварки корня, поддерживая, таким образом, высокий темп строительных работ. При этом внешняя поверхность корневого шва свободна от шлака (требуется лишь незначительная зачистка проволоочной щеткой), и не имеет так называемых "карманов" – зашлакованных продольных канавок, расположенных по краям шва в местах сплавления с основным металлом, характерных для всё той же сварки целлюлозными электродами. Мы производим сравнение именно с этим типом электрода, поскольку оба метода имеют близкие скорости сварки. Выполнение корневого шва электродами с основным типом покрытия не имеет указанных недостатков, но более чем в два раза медленнее STT. Главное преимущество сварки основным электродом – относительно низкое содержание диффузионного водорода в металле шва. Однако сварочный процесс STT, выполняемый полуавтоматически проволокой сплошного сечения в среде защитного газа, по данным компании-производителя, превышает этот показатель качества (см. диаграмму на рис. 4). Исследования, проведенные ВНИИСТом при аттестации метода, подтверждают это обстоятельство.

Сварочный процесс STT позволяет также выполнять корневые швы по открытому зазору в два раза быстрее, чем при обычной полуавтоматической сварке сплошной проволокой, при более низкой величине общего тепловложения и отсутствии непроваров (Stava, 2001). В режиме STT зона термического влияния очень мала. Кроме того, погонная энергия дуги при обычной полуавтоматической сварке составляет, как правило, от 25 кДж/дюйм до 30 кДж/дюйм, в то время как процесс STT протекает при 7 кДж/дюйм и сопровождается значительно меньшей степенью деформации металла. STT позволяет упростить выполнение корневых швов по открытому зазору

при сварке трубопроводов, обеспечивает красивый внешний вид обратного валика шва и более аккуратное сплавление кромок. Он не требует от сварщика очень высокого мастерства и в то же время обеспечивает отличное качество швов, подтвержденное рентгенографическим методом.

Ручная дуговая сварка штучными электродами с целлюлозным покрытием обеспечивает отличное проплавление металла шва, но отличается высоким содержанием диффузионного водорода в шве. Кроме того, полученный корневой шов имеет очень высокий валик с зашлакованными продольными канавками по краям шва, что требует более тщательной механической обработки. Сварочный процесс STT отличается от других режимов сварки низким содержанием диффузионного водорода и лёгкостью управления сварочной ванной при выполнении корневых швов по открытому зазору, отличным внешним видом задней поверхности шва, идеальным сплавлением боковых кромок, низким уровнем разбрызгивания металла и крайне низким дымообразованием. В отличие от полуавтоматической сварки короткими замыканиями, процесс STT обеспечивает точный контроль сварочного тока независимо от скорости подачи проволоки. Изменение вылета электрода не влияет на величину тепловложения. Кроме того, благодаря высокоточной регулировке сварочного тока удаётся значительно снизить возмущения в сварочной ванне и свести к минимуму всплески жидкого металла, сопровождающие обычную полуавтоматическую сварку. Таким образом, сварочный процесс STT представляет собой управляемый процесс переноса металла сериями коротких замыканий за счёт сил поверхностного натяжения, обеспечивающий точный контроль сварочной ванны при минимальном уровне разбрызгивания и дымообразования.

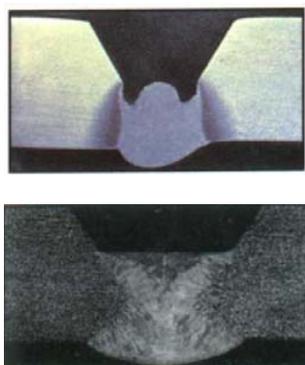


Рис. 3 Поперечное сечение корневого шва, выполненного с помощью целлюлозного электрода (вверху) и методом STT (внизу).

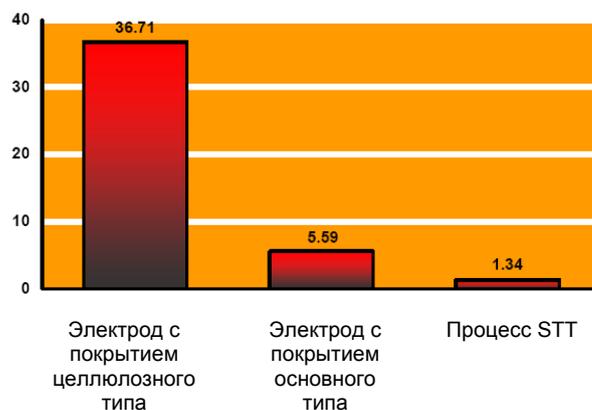


Рис. 4 Содержание диффузионного водорода в металле шва, выполненного различными методами, мл/100г

Среди других особенностей процесса STT следует выделить сокращение общего тепловложения в свариваемую деталь, крайне низкий уровень разбрызгивания и дымообразования.

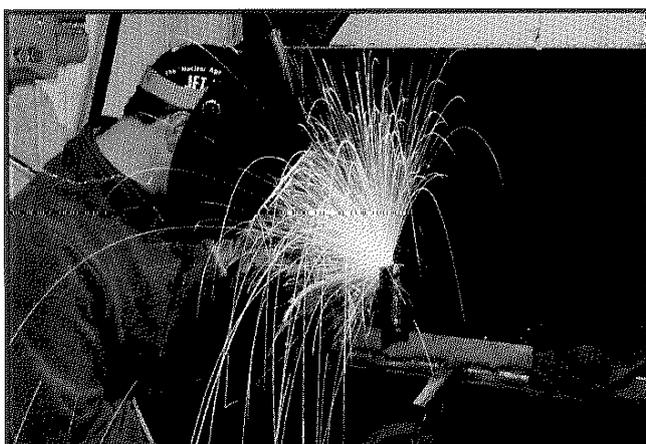


Рис. 5 – Сварка углового соединения на подъём при скорости подачи 3,8 м/мин. Защитный газ – смесь 75% Аргон / 25% CO₂. Слева – с использованием обычного источника для полуавтоматической сварки. Справа – с использованием источника STT.

Фотографии 5 и 6 были сделаны с выдержкой 1 секунда и диафрагмой f16. Сварочным

материалом для этого эксперимента послужила проволока класса AWS ER70S-3 диаметром 1,2 мм. Иллюстрации демонстрируют понижение разбрызгивания обычно присутствующего при полуавтоматической сварке от источника с жёсткой вольтамперной характеристикой. При использовании автоматической или роботизированной сварки уровень разбрызгивания понижается ещё эффективнее за счёт значительно более чёткого расположения электрода и стабильной скорости сварки.



Рис. 6 – Выполнение горизонтального углового шва при скорости подачи 4,4 м/мин. Защитный газ – 100% CO₂. Слева – с использованием обычного источника для полуавтоматической сварки. Справа – с использованием источника STT.

На рис. 5 изображен процесс выполнения шва сваркой на подъём на низкоуглеродистой холоднокатаной стали толщиной 8 мм с использованием техники поперечных колебаний. Полуавтоматическая сварка от обычного источника (слева) и от аппарата STT (справа) происходит на скорости подачи проволоки 3,8 м/мин в смеси газов 75% Аргон / 25% CO₂. Сварщик не поддерживал длину вылета и скорость сварки на постоянном уровне, при этом система STT всё же обеспечила стабильную наплавку и значительно понизила разбрызгивание. На рис. 6 изображён процесс выполнения углового горизонтального шва на том же материале с целью сравнения характера работы тех же сварочных систем. Сварка происходит на скорости подачи 4,4 м/мин с использованием 100% углекислого газа.

Преимущества, особенности и ограничения

Описание и подробное сравнение процесса STT и обычной полуавтоматической сварки короткими замыканиями даёт необходимое представление о сходствах и различиях этих двух способов сварки. Для того чтобы лучше описать характерные особенности, преимущества и ограничения применения процесса STT, необходимо оценить качество сварки, эксплуатационные издержки и условия работы сварщиков.

STT обеспечивает более высокое качество при выполнении швов во всех пространственных положениях благодаря низкому тепловложению, незначительному окислению металла шва и лучшему проплавлению даже при низком качестве сборки под сварку. Улучшение проплавления связано с тем, что при STT выполняется прецизионный контроль сварочного тока на всём протяжении цикла сварки. По этой же причине практически полностью отсутствует разбрызгивание металла, а следовательно, снижается расход электрода, и воздействие дуги концентрируется на основном металле. В результате применения более сжатой дуги предупреждается образование наплывов на швах с зазором в вершине разделки при сварке труб и сосудов высокого давления. Благодаря снижению общего тепловложения уменьшается деформация материала и снижается опасность прожогов, так как энергии дуги хватает только на выполнение шва. Это особенно важно при сварке деликатных материалов, например, нержавеющей стали. Такой точный контроль тепловложения позволяет сваривать детали даже из тонколистового металла с гальваническим покрытием, не опасаясь повредить это покрытие с обратной стороны шва.

Снижение рабочих затрат достигается за счёт замены электродов малого диаметра более дешёвыми электродами большого диаметра, применения CO₂ в качестве защитного газа и экономии наплавленного металла благодаря снижению разбрызгивания. Применение сварочной проволоки большого диаметра способствует сокращению времени сварки и повышает эффективность работы сварщика. Значительное снижение затрат также связано с использованием более дешёвого углекислого газа при сварке стали и её сплавов. Низкий уровень

разбрызгивания ведёт к значительной экономии средств благодаря сокращению затрат на механическую обработку поверхностей стыка шва перед выполнением последнего прохода, а также снижению расхода электрода, металл которого практически полностью остаётся в сварочной ванне. Кроме того, увеличивается интервал обслуживания горелки, так как на сопле горелки образуется меньше нагара.

Улучшаются и условия работы сварщика: уменьшается разбрызгивание металла, снижается дымообразование, излучение сварочной дуги слабее, чем при обычной сварке короткими замыканиями. Благодаря улучшению окружающих условий сварщик чувствует себя более комфортно, и ему легче сконцентрироваться на выполнении работы. Идеальные свойства дуги STT позволяют достичь высоких показателей качества, не требуя от сварщика очень высокого мастерства, что позволяет сократить период обучения.

Несмотря на многочисленные преимущества, процесс STT имеет ряд ограничений и недостатков по сравнению с обычной сваркой короткими замыканиями. Прежде всего, следует заметить, что стоимость источника STT намного больше, чем стоимость обычного сварочного полуавтомата с жёсткой внешней характеристикой. Это связано с применением новейших запатентованных технологий и вполне оправдано снижением затрат при его использовании. Процесс переноса наплавляемого металла за счёт сил поверхностного натяжения имеет более низкие коэффициенты наплавки по сравнению с капельным или струйным, а также импульсным переносом, но не сильно отличается от обычного переноса короткими замыканиями. Как и в случае струйного импульсного переноса, настройки сварочных параметров процесса STT сильно отличаются от традиционных, поэтому требуется дополнительное обучение сварщика. Кроме того, процесс STT отличается от обычной сварки короткими замыканиями тем, что пока он не позволяет сваривать алюминиевые сплавы.

Область применения сварочного процесса STT

Сварочный процесс STT особенно рекомендуется для сварки швов с низким уровнем тепловложения.

STT идеально подходит для следующих областей применения:

- Корневые швы по открытому зазору – сварка труб и деталей из листового металла
- Сварка нержавеющей стали и никелевых сплавов – нефтехимическая отрасль и пищевая промышленность
- Детали из тонколистового металла – автомобильная промышленность
- Кремнистая бронза – автомобильная промышленность
- Оцинкованная сталь – печные дымоходы
- Полуавтоматическая и роботизированная сварка

Примеры применения

При разработке и внедрении новой технологии всегда предполагается, что она будет иметь целый ряд значительных преимуществ по сравнению с существующей. Проверить это на практике можно только после внедрения новой технологии и проверки её конечными потребителями. Приведённые ниже конкретные примеры демонстрируют достигнутые результаты применения новой технологии и её значение для сварочной промышленности в целом. Мы постараемся охватить разные отрасли сварочной промышленности и рассмотрим типичные примеры компаний, специализирующихся на сварке нержавеющей стали, изготовлении стальных металлоконструкций, сварке мостовых марок сталей, а также сварке тонколистовой стали.

Компания Advanced Bus Industries, L.L.C. (ABI) занимается производством необычных автобусов с суперсовременным дизайном. Кроме кожаной обивки салона, эти автомобили комплектуются телевизорами, видеомэгафонами и даже системами спутниковой навигации. Предприятие успешно развивается и внедряет новые модели на промышленном уровне. При создании новой марки автобуса в мастерских штата Огайо было принято решение о модернизации технологии производства и применении нержавеющей стали в качестве основного материала кузова этого автомобиля. Однако в ходе реализации этого проекта возникли трудности со сваркой деталей из нержавеющей стали, так как из-за плохой теплопроводности энергия накапливалась в зоне сварки, что приводило к деформации и кручению материала. Для устранения этой проблемы было решено перейти на сварку методом STT. С внедрением STT существенно сократилось время на зачистку поверхностей – более чем на 75% (Dodson, 2000). Кроме того, сварщики отмечали более

лёгкое управление сварочным процессом и более точный контроль дуги, в результате чего возросла скорость сварки. Оба эти фактора привели к увеличению производительности. "Сварочный процесс STT отличается практически полным отсутствием разбрызгивания металла, что особенно важно в местах стыков нескольких швов", - указывает г-н Рон Истес (Ron Estes), начальник сварочной мастерской ABI. "Источник STT обеспечивает более точный контроль сварочной ванны благодаря дополнительным настройкам пикового и базового тока, длительности снижения тока при переходе на базовый ток, функции горячего старта, то есть оснащён множеством опций, позволяющих приспособить дугу к выполнению конкретной задачи." Среди несомненных преимуществ процесса STT, особенно важных для автомобилестроения, следует упомянуть низкий уровень разбрызгивания, дымообразования и деформации материала. Уменьшение времени на зачистку поверхностей помогло компании ABI существенно сократить трудоёмкость производства.

J.N. Rowen Limited – одна из ведущих британских компаний по изготовлению стальных металлоконструкций, недавно приступившая к разработке и производству трубчатых сварных конструкций. Заключив престижный контракт на строительство нового теннисного корта Уимблдона, компания взяла на вооружение уникальный инвертор, работающий на принципе переноса металла за счёт сил поверхностного натяжения (STT). Процесс STT был воспринят как следующий шаг на пути совершенствования сварочных технологий; способ повышения качества и производительности, а также рентабельности производства. При возведении строительного объекта были продемонстрированы следующие преимущества процесса STT:

- **Простота применения.** Источники обеспечивали отличные параметры дуги даже при изменении вылета электрода. Это избавляло сварщиков от необходимости поддерживать постоянным вылет электрода и угол наклона сварочной горелки, чтобы выполнить ровный, хорошо проваренный шов при низком разбрызгивании. На обучение и сертификацию сварщиков потребовался всего один день.
- **Контроль мощности дуги.** Усиление плазменного столба ведёт к расширению дуги и образованию обширной сварочной ванны. Это предупреждает образование наплывов и обеспечивает большую глубину проплавления, даже на деталях большой толщины.
- **Сокращение расходов на сварочные материалы – 100% CO₂.** Сокращение расходов на защитный газ. Экономия за счёт использования дешевого газа – 25%.
- **Увеличение производительности.** Поскольку процесс STT является менее трудоемким, меньше накапливается усталость сварщиков, и снижается время простоя. Высокая скорость при выполнении корневых проходов и возможность работы в любых положениях значительно снижают общее время, затрачиваемое на выполнение сварки. Кроме того, экономичность данного процесса связана с низким уровнем разбрызгивания, позволяющим существенно сократить трудозатраты на удаление шлака, и возможности выполнения швов в любом положении. Благодаря возможности беспрепятственно выполнять швы в любом положении не потребовалось перемещать и поворачивать конструкцию при сварке. При выполнении более 1000 стыковых швов экономия времени очевидна.

Компания XKT Engineering Inc находится в г. Вальехо (штат Калифорния). Предприятие расположено на берегу залива в непосредственной близости от трасс грузового судоходства и специализируется на разработке проектов по усилению мостов и строительству новых объектов. Для реализации этих проектов требуются трубчатые сваи длиной от 60 до 160 футов. Чтобы быстро и качественно выполнить все работы, компания XKT решила использовать сварочные источники STT. Процесс STT позволяет увеличить скорость сварки корневых проходов в трубах в 3 – 4 раза по сравнению с ручной дуговой сваркой (Goetz, 2000). Кроме того, им легче управлять. "До внедрения сварочного процесса STT мы использовали ручную дуговую сварку с подкладками под шов, - говорит г-н Корки Бейтс (Corkey Bates), инженер-сварщик, начальник производства XKT Engineering, Inc. – "При сварке трубы диаметром 24 дюйма нам приходилось использовать 10-12 стержневых электродов, то есть множество раз возбуждать и гасить дугу. Внедрение процесса STT позволило сократить число пусков/остановов при выполнении корневых проходов до четырёх, то есть безотрывно сваривать по 1/4 кругового шва. Таким образом, удалось увеличить скорость сварки корневых проходов. Кроме того, увеличилась толщина слоя наплавляемого металла, и соответственно, на выполнение второго (горячего) прохода теперь требуется меньше времени. И наконец, уменьшение числа стартов и остановов помогло нам снизить вероятность образования таких дефектов, как пористость и кратеры." "Для нас важно, чтобы сварные швы отвечали требованиям радиографического или ультразвукового контроля и соответствовали стандартам AWS D1.1 для сварных швов, испытывающих циклические растягивающие нагрузки. Благодаря использованию источника STT у нас не было никаких проблем с обеспечением необходимой прочности корневых проходов," – утверждает г-н Бейтс. – "Мы также отметили существенное снижение разбрызгивания металла при переходе от ручной дуговой сварки к методу STT, что

позволило сократить время на зачистку поверхностей и сразу переходить к выполнению заполняющих и облицовочных слоёв способом дуговой сварки под флюсом."

Японская автомобильная корпорация Хонда (Honda) производит в США мотоциклы на заводе, расположенном в Мерисвилле (штате Огайо). На предприятии работают 850 человек. Завод выпускает около 150 000 мотоциклов в год, из них более 90 000 изделий оснащены топливными баками, сваренными по технологии STT. При изготовлении топливных баков детали из формованной листовой стали 22GA соединяют при помощи сварки встык со 100% проплавлением. Небольшая толщина деталей и сложные контуры сварных швов вызывали раньше определённые трудности у сварщиков. С переходом на сварочный процесс STT удалось устранить практически все ранее возникавшие дефекты сварки, характерные при использовании обычных полуавтоматов. В результате количество брака уменьшилось более чем на 90% (Wall, 2000).

Одно из достоинств метода STT – возможность его использования для механизированной сварки. Как отмечалось ранее, системы автоматической сварки стыков трубопроводов позволяют достичь наивысших показателей качества и производительности работ. Российским специалистам хорошо знакомо оборудование американской компании CRC-Evans Automatic Welding, широко используемое сегодня на крупных строительных объектах как у нас в стране, так и за её пределами. Некоторое время назад специалисты обеих компаний – CRC-Evans и Lincoln Electric задались целью оценить возможность автоматизации процесса STT с помощью механизированных головок CRC. Использование источника питания Invertec STT II в комбинации с головками CRC позволило бы исключить необходимость использования внутреннего сварочного узла и вести сварку всего стыка только снаружи.

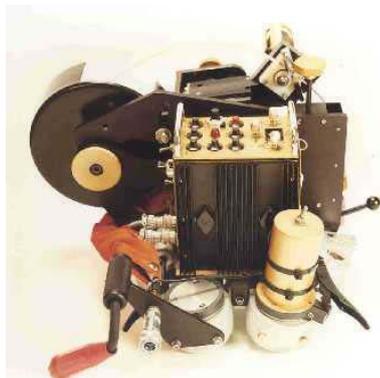


Рис. 7 Автоматическая головка CRC-Evans, модель M220



Рис. 8 Компьютеризированная автоматическая головка CRC-Evans, модель P200.

Предварительные испытания объединенной системы проводились в лаборатории головного офиса CRC-Evans Automatic Welding в Хьюстоне. Более детальные исследования работоспособности системы и поиск оптимальных режимов сварки выполнялся специалистами Центра сварки и испытаний трубопроводов АО "ВНИИСТ" в Москве.

Испытания проводились по двум технологиям, предложенным специалистами CRC-Evans для труб различного диаметра. Автоматическая сварка предъявляет повышенные требования к качеству подготовки кромок и сборке стыка. Эти требования не всегда возможно выполнить.

Поэтому для труб малого и среднего диаметров (условно менее 558 x 12,7) целесообразно использовать узкую J-образную разделку с углом скоса кромок порядка 5° и притуплением 1,5 мм. Все слои выполняются с использованием проволоки сплошного сечения диаметром 1,2 мм. Корневой шов выполняется в смеси 75%Ar/25%CO₂ от источника Invertec STT II. Специальная форма разделки, применение двухкомпонентной смеси газов и особенности технологии STT обеспечивают при этом полное проплавление и формирование обратного валика. Заполняющие слои выполняются в чистом CO₂ от универсального тиристорного выпрямителя марки Idealarc DC-400 или источника питания инверторного типа Invertec V350-PRO. Облицовочный слой – в смеси 75%Ar/25%CO₂, так же от классического источника питания с падающей вольтамперной характеристикой. Для работы по такой технологии используется специально разработанная для сварки корневого шва снаружи головка типа P200, управляемая микропроцессором.

Для труб большого диаметра (условно свыше 558x12,7) было предложено использовать стандартную заводскую разделку с углом скоса кромок 30° и стандартным притуплением. Сборка стыка выполнялась с зазором порядка 2,0 - 2,5 мм. В этом варианте сварочная технология STT призвана обеспечить выполнение качественного корневого шва при наличии существующих

погрешностей подготовки кромок и сборки без использования подкладных колец. Выполнение остальных проходов при сварке всего стыка аналогично первому случаю, за исключением использования порошковой газозащитной проволоки для заполняющих слоёв, обеспечивающей лучшее проплавление и при сварке труб большой толщины.

Заключение

Преподаватели курса технологии производства ежедневно вносят огромный вклад в развитие бизнеса, рассказывая студентам о новейших достижениях промышленности и внедрении в производство новых технологий. Сварочная отрасль не является здесь исключением, и конечно, информация о технологиях управления величиной и формой эюры сварочного тока, и в частности, о сварочном процессе STT, должна быть включена в курс лекций и лабораторных занятий студентов-сварщиков. Процесс переноса наплавляемого металла за счёт сил поверхностного натяжения (STT) имеет целый ряд преимуществ по сравнению с обычным методом полуавтоматической сварки короткими замыканиями. Среди них следует особо выделить более высокое качество швов, снижение трудозатрат и улучшение условий работы сварщиков. Суть метода STT заключается в революционной технологии управления эюрой сварочного тока, обеспечивающей точный контроль сварочных параметров независимо от скорости подачи проволоки на протяжении всего цикла сварки. Высокоточное цифровое регулирование сварочного тока открывает новую эру в технологии сварки и предоставляет революционные возможности для промышленного применения этого метода.

С внедрением этой новейшей технологии появляются многообещающие перспективы для автомобильной и нефтехимической промышленности, предприятий по изготовлению стальных металлоконструкций. Появление метода STT приводит к постепенному отходу производителей от применения традиционной дуговой сварки короткими замыканиями. Во многих компаниях уже наблюдается снижение издержек и увеличение производительности при замене традиционных сварочных полуавтоматов для полуавтоматической и ручной дуговой сварки на источники STT. По некоторым оценкам, в настоящее время можно было бы с успехом заменить на сварочный процесс STT до 75% всех случаев применения традиционной дуговой сварки короткими замыканиями (труб и листового металла), что позволило бы повысить качество сварки, сократить затраты и улучшить условия работы сварщиков. Ввиду того, что сварочный процесс STT уже в ближайшие 10 лет может стать доминирующим методом сварки стали и её сплавов в США, очень важно уже сейчас готовить высококвалифицированных технологов и инженеров для освоения и отработки этой новейшей технологии на производстве.