

TimeTwin Digital - максимальная производительность наплавки благодаря применению двух проволочных электродов

Карин Химмельбауэр, «Fronius International GmbH», Гюнтер-Фрониус-Штрассе 1, А-4600, Тальхайм-Вельс, Австрия

1. Введение

В современном мире потребность в новых сварочных технологиях, которые бы обеспечивали высочайшее качество сварки и одновременно повышали прибыльность и рентабельность, неуклонно растет. Это стимулирует развитие высокоэффективных сварочных технологий с более высокой производительностью наплавки. При использовании данных технологий производительность наплавки составляет свыше 8 кг/час в случае сварки стали. Пользователи могут использовать такую производительность либо для увеличения площади сечения шва, либо для повышения скорости сварки. Более высокая производительность наплавки может быть получена за счет увеличения площади поперечного сечения проволоки или использования двух электродов или более для стыковой сварки оплавлением. Тандемная технология, при которой в процессе сварки одновременно используются два электрода, относится ко второй категории. Детальное описание технологии представлено в настоящей статье.

2. Технология сварки

Если в процессе MSG сварки (плавящимся электродом в среде защитного газа) одновременно используются два проволочных электрода, фактически возможны два варианта:

- В процессе сварки двумя проволоками два проволочных электрода направляются совместно через один контактный наконечник; таким образом, они обладают одинаковым электрическим потенциалом.
- В случае тандемной сварки, напротив, для каждого электрода предусмотрен отдельный контактный наконечник. Контактные наконечники электрически изолированы друг от друга. Таким образом, можно обеспечить разные электрические потенциалы двух электродов.

Эти два варианта схематично изображены на Рисунке 1.

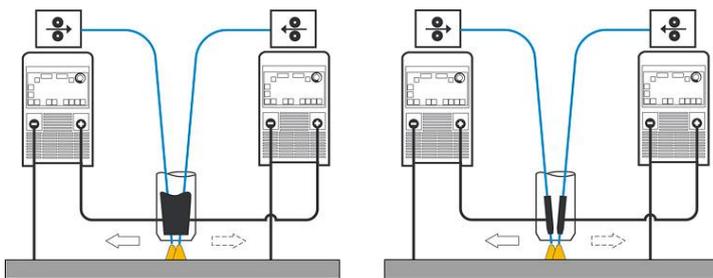


Рисунок 1: Сварка двумя проволоками с общим контактным наконечником (слева) и тандемная сварка (справа), при которой используются два контактных наконечника, отделенных друг от друга и электроизолированных.

Технология TimeTwin компании Fronius представляет собой технологию тандемной сварки. Благодаря тому, что два электрода электроизолированы, генерируется две электрических дуги, которые можно регулировать и оптимизировать независимо друг от друга. Как производительность, так и дополнительные параметры, такие, как, например, длина двух электрических дуг могут регулироваться по отдельности, что дает возможность обеспечить стабильность электрической дуги и идеальное отделение капли на обеих электрических дугах.

Еще одним преимуществом данного принципа является то, что любой из двух электродов может быть ведущим или ведомым. Это означает, что электрод, играющий ведущую роль в процессе сварки, можно заменить ведомым. Это позволяет осуществлять сварку в обоих направлениях и это, в свою очередь, дает возможность сократить время цикла. Кроме того, также существует возможность использования только одной электрической дуги, т.е. осуществления сварки одиночным электродом.

При использовании двух электроизолированных электродов также существует возможность выбора типа электрической дуги (стандартная электрическая дуга или импульсная электрическая дуга) отдельно для каждого электрода. Фактически существует четыре варианта:

- Импульсная электрическая дуга на одном электроде / импульсная электрическая дуга на другом электроде (наиболее распространенный вариант)
- Импульсная электрическая дуга на одном электроде / стандартная электрическая дуга на другом электроде (для достижения максимальной скорости сварки и обеспечения оптимального перекрытия зазора)
- Стандартная электрическая дуга на одном электроде / импульсная электрическая дуга на другом электроде (для глубокого проплавления)
- Стандартная электрическая дуга на одном электроде / стандартная электрическая дуга на другом электроде (наименее распространенный вариант)

Как правило, технология TimeTwin используется в автоматизированных системах. В большинстве случаев применяется первый из вышеперечисленных вариантов, т.е. две импульсных электрических дуги. Кроме того, процессы переноса металла, как правило, сдвинуты по фазе на 180° . Это означает, что первый электрод находится в фазе основного сигнала, в то время как второй электрод находится в фазе импульсного сигнала и наоборот. Последовательность изображена на Рисунке 2.

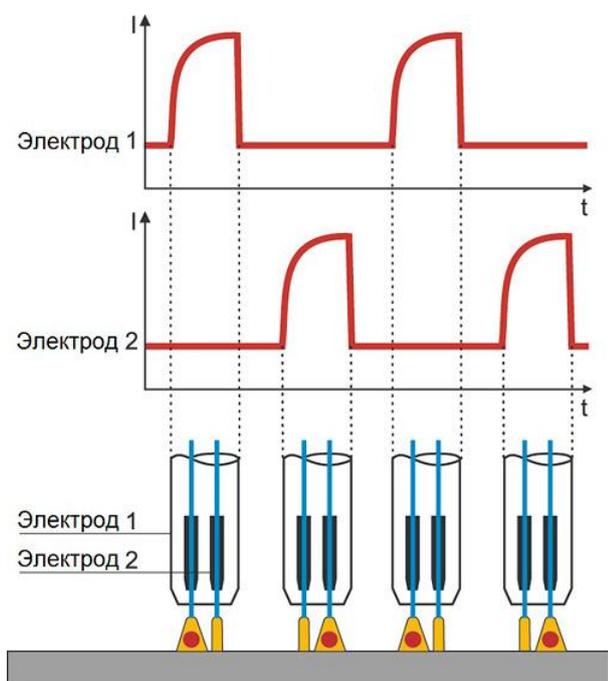


Рисунок 2: Тандемная технология. Два электрода в режиме импульсной электрической дуги (со сдвигом по фазе на 180°). Принцип и процесс переноса металла.

3. Сварочное оборудование

Для тандемной технологии TimeTwin требуется наличие двух источников питания, поскольку необходимо обеспечить электропитание двух электрических дуг. Однако, недостаточно просто обеспечить соответствие источников питания требованиям данной технологии. Вместо этого, требуется произвести доработку всего оборудования. В основном это касается сварочной головки, механизма подачи проволоки и системы охлаждения. Принципиальные схемы этих элементов представлены на Рисунке 3. Подробное их описание приведено ниже.

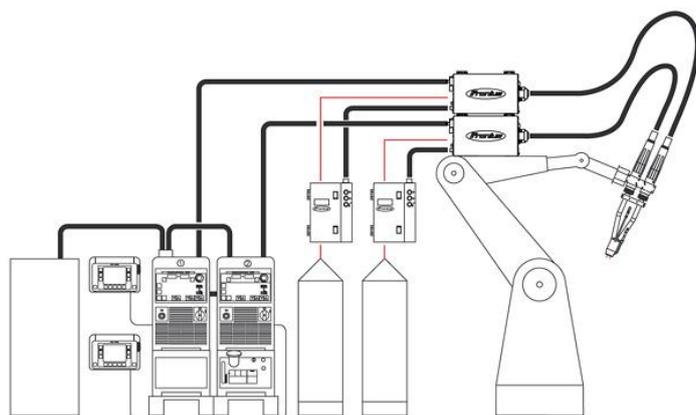


Рисунок 3: Принципиальные схемы оборудования для реализации технологии TimeTwin. Как правило, данная технология применяется только в автоматизированных системах.

Компания Fronius является поставщиком готовых сварочных систем в модульном исполнении. Сварочные системы Fronius обладают высокой надежностью и позволяют работать по принципу «включи и работай».

3.а. Источник электропитания

При создании источников питания для тандемной технологии TimeTwin удалось добиться значительных успехов: в отличие от ранее применявшихся источников новый источник электропитания серии TimeTwin Digital 4000 / 5000 полностью автоматизирован. Инновационной особенностью данного аппарата является возможность программного управления всеми параметрами сварочного процесса. Управление осуществляется с помощью процессора цифровой обработки сигналов (DSP). Для действующей электрической дуги система регистрирует аналоговые величины сварочного тока и напряжения. Аналого-цифровой преобразователь конвертирует эти аналоговые величины в цифровые сигналы, которые передаются в процессор. Процессор осуществляет управление сварочным процессом таким образом, чтобы привести фактические значения параметров к требуемым / номинальным значениям. Данный принцип автоматического управления обеспечивает значительные преимущества:

- Электронные схемы управления теперь имеют очень малые размеры, поскольку функции управления полностью переданы единственному электронному модулю – процессору DSP. В применении к инверторным источникам электропитания данный принцип гарантирует минимальный вес и габариты источников.
- Управление системой отличается быстротой и технологической гибкостью, что существенно влияет на результаты сварки. Например, обеспечивается возможность быстрой реакции на изменения зазора между контактным наконечником и заготовкой, т.е. возможность быстрого регулирования длины электрической дуги.
- Программное управление нечувствительно к температурным дрейфам и т.д. Вследствие этого программное управление обеспечивает очень высокую стабильность параметров в течение длительного времени.

Помимо указанного важным фактором является необходимость взаимодействия двух источников электропитания между собой в целях синхронизации двух электрических дуг и обеспечения последовательного переноса металла. К решению данной задачи также был применен инновационный подход: в аппаратах серии TimeTwin Digital 4000 / 5000 обмен данными между источниками электропитания осуществляется по шине данных с возможной скоростью передачи информации до 10 Мбит/с.

В данном случае два источника электропитания представляют собой стандартные источники, укомплектованные средствами для подключения шины данных и установки соответствующего ПО. Существенным преимуществом подобной конфигурации является возможность отключения источников друг от друга в любой момент времени с последующим их использованием по отдельности. Помимо прочего для данных источников применяются запасные части, аналогичные запчастям для стандартных источников, что существенно упрощает материально-техническое снабжение.

На рисунке 4 показан источник электропитания TimeTwin Digital 4000 с механизмами подачи проволоки, устройством дистанционного управления, сварочной горелкой и станцией очистки горелки.

Рисунок 4: Комплектная сварочная система на базе источника электропитания TimeTwin Digital 4000.



Дополнительным преимуществом данной системы является возможность включения роботом автоматизированного комплекса двух источников электропитания по принципу включения одного, что значительно повышает технологичность. По сравнению с системами предыдущего поколения серьезно оптимизирован обмен данными между сварочным роботом и источником электропитания. В отличие от систем предыдущего поколения, в которых между источником и роботом поддерживалось до 40 коммуникационных каналов, в новых аппаратах серии TimeTwin Digital 4000 / 5000 обмен данными осуществляется по сети LocalNet или магистральной шине. Оба решения, LocalNet и магистральная шина, снижают до минимума расходы на прокладку кабелей, а также уменьшают влияние помех.

3.b. Сварочная горелка

Тандемная технология предполагает одновременное использование для сварки двух электродов. Несмотря на то, что в данной технологии контактные наконечники двух электродов электрически изолированы друг от друга, они оба проходят через общее газовое сопло, и, следовательно, должны быть встроены в одну сварочную горелку. На рисунке 5 показано схематическое изображение горелки в разрезе. На данном рисунке четко показана электрическая изоляция контактных наконечников.

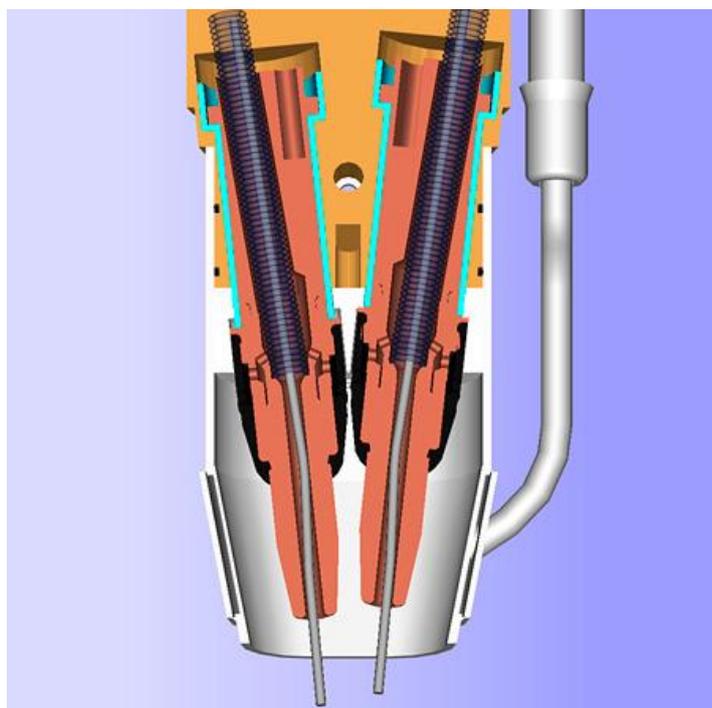


Рисунок 5: Сварочная горелка для тандемной технологии TimeTwin в разрезе. В данном случае контактные наконечники электрически изолированы друг от друга.

Основной особенностью сварочной горелки для технологии TimeTwin является наличие системы охлаждения горелки. В данном процессе выделяется большое количество тепла. Это тепло должно постоянно отводиться и, поэтому газовое сопло охлаждается по всей длине. Надлежащий отвод тепла предусмотрен также в зоне контактных наконечников.

Существует два типа сварочных горелок: горелка Robacta Drive Twin представляет собой двухтактную горелку, укомплектованную дополнительным устройством подачи проволоки.

В данной горелке между двумя механизмами подачи проволоки и горелкой проходят два комплекта гибких труб. Эта горелка применяется, в частности, в случае работы с мягкими и тонкими проволоками, обеспечивая возможность высокоточной подачи проволоки. Кроме того, двухтактная горелка необходима в случае применения методики зажигания дуги без разбрызгивания (SFI). Помимо горелки Robacta Drive Twin в наличии имеется горелка Robacta Twin Compact, в которой два электрода протягиваются между механизмами подачи проволоки и сварочной горелкой через общий комплект гибких труб. Несмотря на то, что последняя горелка не является двухтактной, её компактная конструкция даёт значительные преимущества при необходимости работы с труднодоступными участками.

На рисунке 6 показана сварочная горелка Robacta Twin, представляющая собой двухтактную горелку, и сварочная горелка Robacta Twin Compact, обеспечивающая возможность работы в труднодоступных местах.

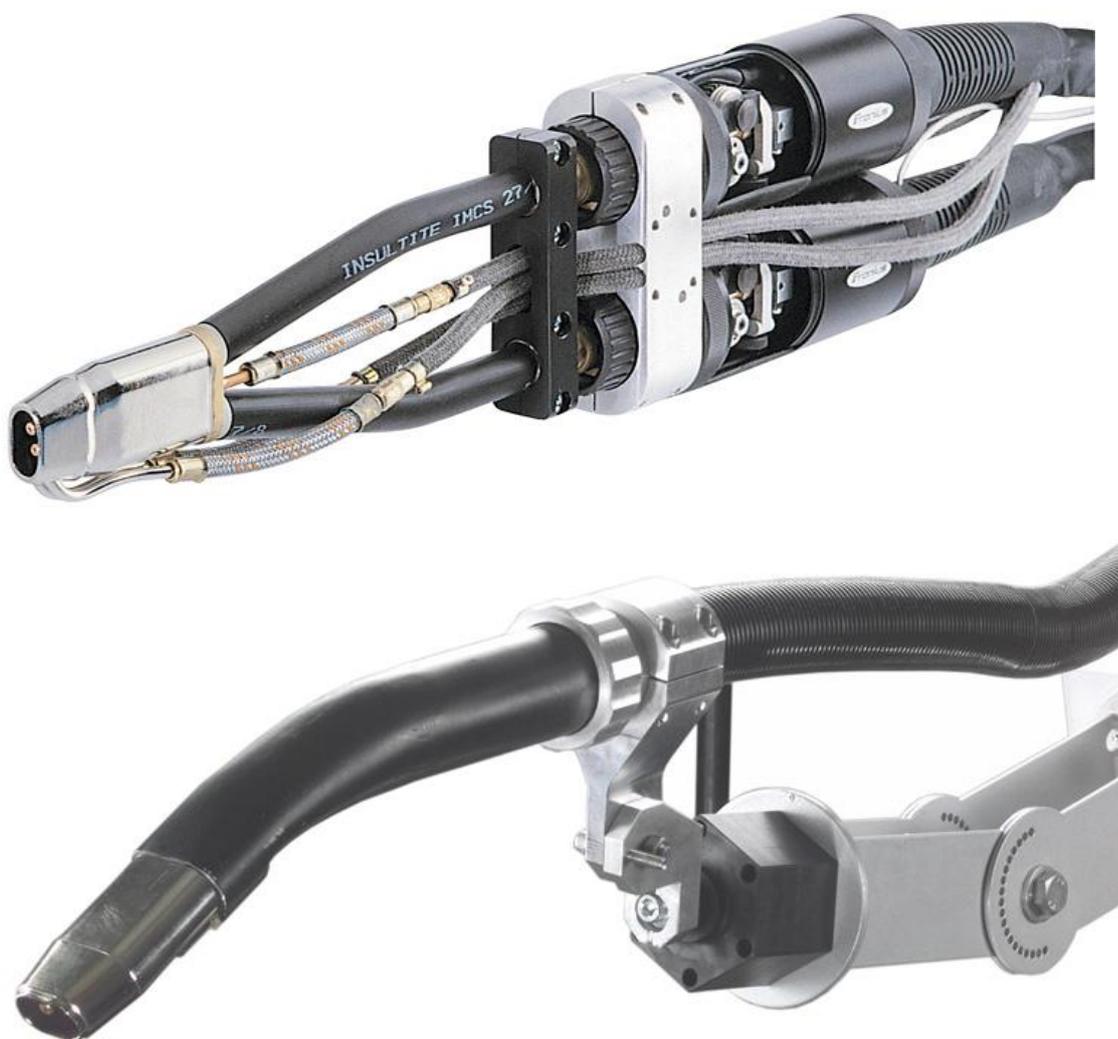


Рисунок 6: Сварочные горелки Robacta Drive Twin и Robacta Twin Compact.

Технические характеристики обеих горелок представлены в таблице 1.

	Robacta Drive Twin	Robacta Twin Compact
Масса, включая шлангпакет	7,6 кг	5,5 кг
Скорость подачи проволоки	до 2 x 22 м/мин.	до 2 x 30 м/мин.
Сварочный ток (100% ED)	2 x 450 А	2 x 450 А
Диаметр проволоки	0,8 – 1,6 мм	0,8 – 1,6 мм

Таблица 1: Технические характеристики сварочных горелок Robacta Twin и Robacta Drive Twin

3.с. Прецизионная подача проволоки

По причине применения в тандемной технологии двух сварочных проволочных электродов также необходимы два механизма подачи проволоки, каждый из которых осуществляет подачу одного электрода. В зависимости от производственной отрасли могут быть использованы различные варианты автоматизированных систем и типов механизмов подачи.

- VR 1500: Механизм VR 1500 обычно устанавливается на третьей оси сварочного робота, в результате чего расстояние между механизмом подачи проволоки и сварочной горелкой оказывается относительно малым. Конструкция робота должна выдерживать вес механизма подачи проволоки, и этот факт должен приниматься во внимание при выборе размеров робота.
- VR 1530 PD: Данный механизм подачи проволоки применяется для размотки проволоки из больших бухт. Механизм укомплектован планетарной передачей, которая, помимо подачи сварочной проволоки, обеспечивает выполнение функции выпрямления проволоки, что является очень важным для автоматизированных систем. В большинстве случаев механизм VR 1500 применяется совместно с VR 1530 PD или Robacta Drive Twin.
- VR 4040: Помимо типовых корзиночных катушек алюминиевые проволоки часто поставляются в бухтах массой 40 кг в целях уменьшения частоты смены бухт. С учетом больших размеров данных бухт применение стандартных механизмов подачи проволоки невозможно. В механизме VR 4040 предусмотрено создание определенного запаса проволоки с целью компенсации задержки при разгоне / торможении таких бухт, что обеспечивает подачу проволоки с постоянной скоростью от начала и до конца процесса сварки. VR 4040 представляет собой механизм размотки, который обычно используется в комбинации с устройством VR 1500.
- VR 7000: VR 7000 представляет собой отдельный блок подачи проволоки, который в большинстве случаев устанавливается отдельно от робота. Важным преимуществом данного механизма подачи является обеспечение защиты бухты проволоки от воздействия факторов окружающей среды.

На рисунке 7 показаны механизмы подачи проволоки VR 1500 и VR 1530 PD; в последнем можно увидеть упомянутую планетарную передачу.



Рисунок 7: Механизмы подачи проволоки VR 1500 и VR 1530 PD; в последнем подача и выпрямление проволоки осуществляются с помощью планетарной передачи.

4. Скорость сварки и производительность наплавки

Путем применения технологии TimeTwin можно достичь значительного увеличения производительности наплавки по сравнению с традиционными технологиями электродуговой сварки. Пользователь может использовать такую производительность либо для повышения скорости сварки, либо для увеличения

площади сечения шва. В большинстве случаев преимущественное значение имеет повышение скорости сварки. Точная величина, на которую может быть повышена скорость сварки, зависит от марки материала, толщины листового материала, геометрии и положения шва и т.д.

В таблицах 2 и 3 представлены возможные скорости сварки и производительности наплавки для различных основных материалов, типов и положений шва.

	Нахлесточное соединение с отбортовкой	Нахлесточное соединение	Тавровое соединение	Тавровое соединение
Толщина листового металла (мм)	2	3	6	10
Положение шва при сварке	РА	РВ	РВ	РВ
Диаметр проволоки	1,2	1,2	1,2	1,2
Скорость подачи проволоки (м/мин.), одна проволока / две проволоки	10-12 / 9-11	10-13 / 9-12	12-14 / 11-13	16-18 / 15-17
Скорость сварки (см/мин.)	250-300	150-250	120-150	100-120
Защитный газ в соответствии с EN 439	I 1 или I3 (аргон или аргоно-гелиевые смеси)			

Таблица 2: Типовые значения скорости сварки и производительности наплавки. Основной материал: алюминий

	Нахлесточное соединение с отбортовкой	Нахлесточное соединение	Стыковой шов	Тавровое соединение	Тавровое соединение
Толщина листового металла (мм)	2	3	3	10	10-20
Положение шва при сварке	РА	РВ	РА	РВ	РА
Диаметр проволоки	1,0	1,2	1,2	1,2	1,2
Скорость подачи проволоки (м/мин.), одна проволока / две проволоки	14-16 / 12-14	9-12 / 7-10	9-12 / 7-10	12-14 / 11-13	15-18 / 14-17
Скорость сварки (см/мин.)	250-350	150-250	150-200	100-120	60-160
Защитный газ в соответствии с EN 439	M2s, с или без He M 21 или M21(1), с содерж. прибл. 10% CO ₂	M2s, с или без He M 21 или M21(1) с содерж. прибл. 10% CO ₂	M2s, с или без He M 21 или M21(1) с содерж. прибл. 10% CO ₂	M2s, с или без He M 21 или M21(1) с содерж. прибл. 10% CO ₂	M2s, с или без He M 21 или M21(1) с содерж. прибл. 10% CO ₂

Таблица 3: Типовые значения скорости сварки и производительности наплавки. Основной материал: сталь

В целом можно отметить, что с применением технологии TimeTwin скорость сварки может быть увеличена примерно в 2-3 раза по сравнению с технологиями MSG и в 2 раза по сравнению с технологией Time. Точная величина увеличения зависит от особенностей области применения. Путем применения технологии TimeTwin при сварке стальных заготовок можно достичь скорости сварки до 7 м/мин. и производительности наплавки до 30 кг/ч.

5. Сферы применения

В настоящее время технология TimeTwin уже применяется в большом количестве отраслей. Данные отрасли входят в сферу применения сварки плавлением и MIG пайки (плавящимся электродом в среде защитных газов). Технология TimeTwin может применяться в ряде иных областей, включая, помимо прочего, следующие:

- производство железнодорожных вагонов
- судостроение
- автомобилестроение
- танкостроение
- машиностроение
- производство экскаваторов и специального механического оборудования
- строительство трубопроводов

Технология TimeTwin может применяться с любыми стандартными вспомогательными материалами. Помимо сварки технология TimeTwin также может применяться для MIG пайки, в ходе которой расплавляется только присадочный материал, а основной не расплавляется. В общем случае технология TimeTwin допускает использование следующих проволок:

- проволока из алюминия и его сплавов
- проволока из стали
- проволока из CrNi
- порошковая проволока
- проволоки на медной основе для MIG пайки

В данной технологии также предусмотрено использование защитных газов. Это обеспечивает высокую гибкость данной технологии и упрощает усовершенствование существующих однопроволочных аппаратов до TimeTwin. В таблице 4 представлен перечень защитных газов, применяемых для работы с различными основными материалами и типами электрической дуги.

Таблица 4: Защитные газы, используемые для работы с различными основными материалами и типами электрической дуги.

Основной материал	Защитный газ
Нелегированная и низколегированная сталь / импульсная сварка	90% Ar / 10% CO ₂ , 82% Ar / 18% CO ₂
Нелегированная и низколегированная сталь / стандартная сварка	95-98% Ar / 2-5% O ₂
Алюминий / импульсная сварка	Ar или смесь Ar / He
Нержавеющая сталь / импульсная сварка	97,5% Ar / 2,5% CO ₂

5.а. Применение в сфере строительства трубопроводов

В университете Крэнфилда (Cranfield University) был проведен анализ экономической целесообразности применения технологий автоматической сварки при строительстве трубопроводов (взамен ручной сварки электродами с целлюлозным покрытием). Технология сварки TimeTwin теперь применяется на газопроводах большого диаметра (1800 мм); работы выполняются на очень большой протяженности. В частности сейчас ведется строительство трубопровода длиной 3200 км между Аляской и Чикаго. Основная часть строительных работ на Аляске осуществляется в зимний период при очень низких температурах до -50°C.

В данном случае применяется двойная тандемная сварка четырьмя электрическими дугами со всех сторон трубопровода одновременно. Результатом применения данной технологии явилось сокращение продолжительности сварки одного шва с 4 часов (в случае ручной сварки) до 20 минут. Благодаря такому невероятному увеличению скорости сварки стоимость строительных конструкций существенно снижена. Наиболее значимые параметры сварки:

- тип шва: швы с разделкой кромок
- основной конструкционный материал: X100
- вспомогательный технологический материал: Mn3Ni1Mo
- скорость сварки: 130 см / мин.
- производительность наплавки: 12 кг / ч
- положение шва при сварке: PA, PB, PC, PD

На рисунке 8 показан участок трубопровода с защитным кожухом, позволяющим поддерживать температуру окружающей среды -20°C, а также сварочный процесс по тандемной технологии.

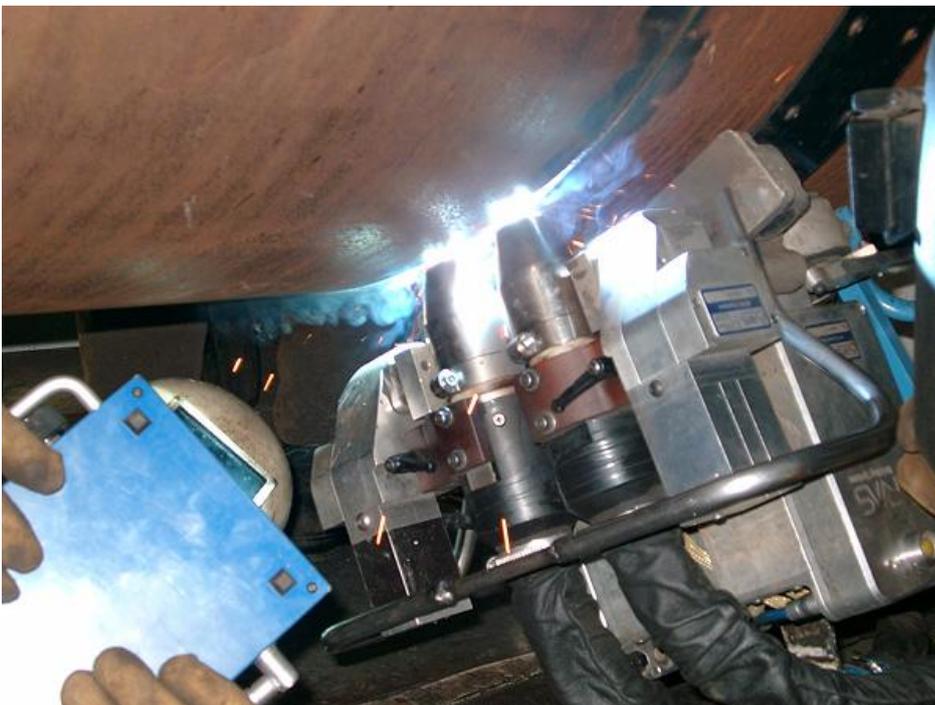


Рисунок 8: Применение в сфере строительства трубопроводов. Сварка трубопроводов осуществляется при экстремальных температурах. Снижение времени, затрачиваемого на сварку шва, в 12 раз.

5.6. Применение в сфере производства железнодорожных вагонов

Итальянский производитель железнодорожного подвижного состава Alstom Ferroviaria, до 2001 года известный под названием Fiat Ferroviaria, выпускает, помимо прочего, итальянские высокоскоростные поезда Pendolino. Сварка экструдированных алюминиевых профилей для конструкций полов, стен и крыш вагонов данного высокоскоростного поезда осуществлялась с помощью технологии TimeTwin.

Проблемой в данном случае являлась высокая скорость сварки с одной стороны и необходимость уменьшения излишних задержек с другой стороны. Однако, главным требованием было высокое качество швов, так как швы находились на лицевых поверхностях изделий.

Аппараты TimeTwin монтировались на продольных шасси длиной около 10 м. Свариваемые металлические профили имели длину порядка 27 м. В ходе работы одновременно осуществлялась сварка двух швов. В качестве направляющего устройства применялся тактильный датчик.

С января 2000 г. по ноябрь 2001 г., т.е. менее чем за 2 года, общая длина сварных швов, выполненных установками Fronius TimeTwin, составила 3000 км – что равно расстоянию от Стокгольма до Рима.

Наиболее значимые параметры сварки:

- тип шва: швы с разделкой кромок, проплавные швы
- основной конструкционный материал: AlMgSi0.7
- вспомогательный технологический материал: AlMg4.5 mn0.7
- скорость сварки: 250 см / мин.
- производительность наплавки: 7 кг / ч
- положение шва при сварке: РА

На рисунке 9 показаны свариваемые экструдированные профили и сварочная операция, выполняемая двумя горелками TimeTwin одновременно.



Рисунок 9: Тандемная сварка при производстве железнодорожных вагонов. Достигнутая скорость сварки: 250 см / мин.

6. Заключение

В данной статье рассмотрена технология тандемной сварки TimeTwin. От технологии сварки двумя проволоками данный процесс отличается наличием двух контактных наконечников, электрически изолированных друг от друга, благодаря чему электрические потенциалы двух электродов могут различаться. С одной стороны, для данного процесса необходимы два источника электропитания; синхронизация процессов переноса металла осуществляется путем обмена данными по шине данных. В то же время для данного процесса требуется доработка сварочных горелок, механизмов подачи проволоки и т.д.

Технология TimeTwin характеризуется высокой скоростью сварки, производительностью наплавки,

уменьшенным тепловложением и разбрызгиванием. Помимо этого, сварка может осуществляться в обоих

направлениях; также возможна сварка только одним электродом. Более того, в статье рассмотрены характерные сферы применения, в которых можно достичь максимальной скорости сварки и одновременно добиться превосходного качества швов.