

ПРИМЕНЕНИЕ ПОРОШКОВЫХ ПРОВОЛОК ДЛЯ СВАРКИ В ПРОМЫШЛЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Р. РОЗЕРТ

ITW welding GmbH. 67317, Altleiningen, Germany. E-mail: Reinhard.Roserte@drahtzug.com

Механизированные и автоматизированные процессы дуговой сварки и наплавки порошковыми проволоками находят все более широкое применение во многих странах при изготовлении и ремонте различных изделий и конструкций во многих отраслях и производствах. Рассмотрены преимущества МАГ-процесса порошковыми проволоками в сравнении с ММА-и МАГ-процессами проволоками сплошного сечения. Областью эффективного применения порошковых проволок является, в частности, строительство магистральных трубопроводов. Приведены виды разработанных в ряде стран сварочных систем для выполнения неповоротных стыков трубопроводов. Табл. 3, рис. 12.

Ключевые слова: механизированная дуговая сварка, порошковая проволока, преимущества применения, производительность сварки (наплавки), автоматизированные системы сварки, механические свойства

Сварка относится к самым распространенным способам, применяемым в промышленности для изготовления металлических конструкций. С этим связано развитие многочисленных процессов сварки и присадочных материалов. Главными целями этих разработок являются: разработка сварочных материалов для сварки различных типов сталей; развитие новых способов сварки с целью увеличения производительности; разработка новых высокопроизводительных способов сварки.

Тенденции развития сварочных процессов идут в направлении механизации и автоматизации. На графике (рис. 1) видно, как отдельные сварочные процессы распределяются по различным регионам мира. В США, Японии и ЕС используют, в основном, механизированные и автоматизированные способы сварки. Применение штучных электродов относительно невелико.

В Китае и многих странах Азии более 50 % всех сварочных материалов являются штучными электродами. Соответственно уровень механизации ниже, что снижает производительность процесса сварки. Применение ручной дуговой сварки штучными электродами в этих странах предпочтительнее, так как затраты на сварочное оборудование и вспомогательные материалы относительно низки.

Альтернативой использованию штучных сварочных электродов являются порошковые проволоки. Порошковая проволока — это бесконечный электрод в виде проволоки, заполненной следующими компонентами различного назначения: шлакообразующие, газообразующие, стабилизаторы горения дуги, легирующие порошки, ферроматериалы и микролегирующие элементы.

Существует два основных вида порошковой проволоки: бесшовная (рис. 2, а) и вальцованная (рис. 2, б).

В зависимости от назначения используют основные и рutilовые порошковые проволоки как шлакосодеждающие, так и металлопорошковые. На рис. 3 показана классификация порошковых проволок по различным критериям. Применение порошковых проволок обеспечивает следующие преимущества:

- ♦ выполнение швов высокого качества сварщиками более низкой квалификации;
- ♦ обучение в короткие сроки сварщиков технике сварки в различных пространственных положениях;
- ♦ снижение риска образования непровара при отклонении горелки от правильной траектории, так как столб дуги имеет большую ширину;
- ♦ минимализация чувствительности качества проплавления и формирования шва к непредусмотренному изменению настроек режима сварки;
- ♦ снижение затрат на исправление дефектов.

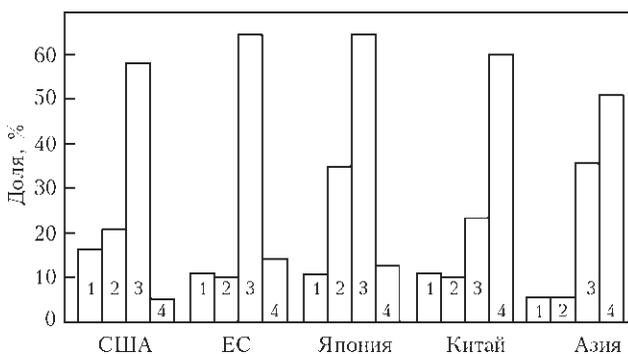


Рис. 1. Структура применения процессов сварки в мировом производстве по состоянию на 2010 г.: 1 — под флюсом; 2 — порошковой проволокой в защитных газах; 3 — сплошной проволокой в защитных газах; 4 — штучными электродами

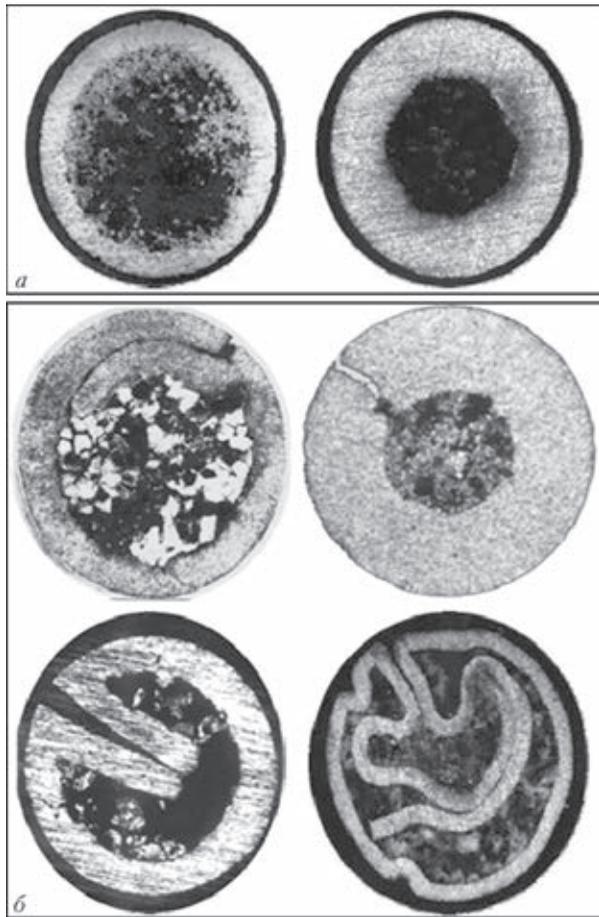


Рис. 2. Виды порошковых проволок

В настоящее время порошковые проволоки находят все большее применение в различных производствах, таких как судостроение, мостостроение, трубостроение, турбиностроение, буровые платформы, автомобилестроение, стальные конструкции, строение трубопроводов, сосудо- и аппаратостроение, химическая промышленность, рельсовые транспортные средства, литейная и металлургическая промышленность, мобильные краны, машины для строительства и ремонта дорог.

Производительность сварки порошковыми проволоками находится в прямой зависимости от



Рис. 3. Классификация порошковых проволок

Таблица 1. Сопоставление преимуществ применения порошковых и сплошных проволок

Критерии	Порошковая проволока	Сплошная проволока
Полное проплавление кромок	+	-
Смачивание кромок, сварочная надежность	+	-
Опасность непроваров	+	-
Плавные переходы без подрезов	+	-
Склонность к образованию трещин	+	-
Образование брызг	+	-
Стабильность процесса	+	-
Порообразование/внутренние дефекты	+	-
Производительность в стесненных положениях	+	-
Возможность поставки специальных типов	+	-
Микролегирование при низких температурах	+	-
Цена	+	-
Производственные расходы	-	+

величины сварочного тока и достигает высоких значений (рис. 4).

В промышленности в основном применяют рутиловые порошковые проволоки с быстроотвердевшим шлаком, которые можно сваривать высоким током в неудобных пространственных положениях. Химический состав наплавленного металла обеспечивает необходимые механические свойства и высокую ударную вязкость (до -60°C).

Потенциал экономии при сварочных операциях ограничивается выбором эффективного процесса сварки, механизацией (увеличение эффективного времени горения дуги), сокращением простоев (чистка от шлака и брызг).

Наибольшая экономия времени по сравнению со сваркой сплошной проволокой или электродом реализуется при сварке в неудобных пространственных положениях (условиях).

Порошковые проволоки успешно применяют при сварке неповоротных стыков (изготовление больших трубопроводов). Например, трубопровод «Северный поток» для поставки природного газа в Германию в основном изготовлен с помощью таких проволок.

Использование трубопроводов для воды и газа имеет определенную историю:

- ♦ первые системы трубопроводов для поставки воды (каменные или деревянные);
- ♦ 1911 г. — первая попытка сварки трубопроводов;
- ♦ 1922 г. — первое применение дуговой сварки трубопроводов;
- ♦ 1927 г. — первая попытка сварки электродами с целлюлозным видом покрытия;

- ◆ 1969 г. — применение механизированно сварки в защитных газах;
- ◆ 1980 г. — применение автоматических систем сварки на аналоговой основе;
- ◆ 1993 г. — применение технологии сварки корня шва без подкладки;
- ◆ 2000 г. — использование автоматических систем сварки на цифровой основе.

В настоящее время используют процессы ручной дуговой и автоматической сварки. Сравнивая их, можно увидеть следующее преимущества автоматической сварки:

- ◆ лучшее качество сварных соединений с точки зрения обеспечения требуемых механических свойств;
- ◆ экономия на необходимой численности персонала (сварщиков, операторов) и оборудования;
- ◆ более быстрое обучение операторов процессу автоматической сварки;
- ◆ экономия сварочных материалов;
- ◆ общая экономия при строительстве трубопровода (уменьшение времени простоя).

В мире ежегодно строится примерно 25 тыс. км трубопроводов для различных целей. Если учесть, что труба в среднем имеет длину от 12 до 15 м, то для указанной длины трубопроводов необходимо более 1,6 млн труб. В основном используют два варианта автоматической сварки: сварка с самозащитной порошковой проволокой и сварка порошковых проволок в атмосфере защитного газа.

Для сварки в среде защитных газов труб большого диаметра разработан перечень порошковых проволок, учитывающий требования по механическим свойствам применяемых трубных сталей. Параллельно с этим разрабатывали соответствующие источники питания и сварочные аппараты. Такая система включает в себя следующие компоненты: две сварочные головки с приводом; источник питания и генератор; гибкий направляющий рельс; контроллер и различные запчасти.

Соответствующий источник питания можно применять для следующих процессов сварки: ТИГ; ММА с основными и целлюлозными электродами; МИГ/МАГ со сплошной и порошковой проволокой; сварка порошковой проволокой для корневого прохода. Контроль за работой сварочной головки осуществляется с использованием цифровой обработки. Для сварки сохраняются, в зависимости от толщины трубы и материала, различные сварочные программы. Сварщик выбирает программу, например, для сварки корня шва. Коррекцию параметров сварки (в определенных пределах в ходе процесса сварки) можно реализовать с помощью панели управления. Общая технологическая процедура описана ниже.

Вначале сваривается корень шва. Для этого используют сплошную проволоку диаметром

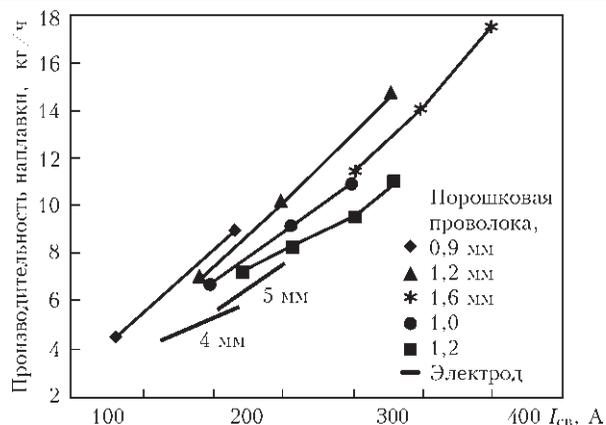


Рис. 4. Производительность наплавки различными материалами в зависимости от величины сварочного тока (нижнее положение сварки)

1,14 мм. Скорость сварки 15...20 см/мин. Высота корня шва 4 мм. Начиная со второго слоя сварка осуществляется рутиловой порошковой проволокой. Параметры сварки в основном зависят от вида защитного газа, диаметра и толщины стенки трубы, подготовки кромок.

Обычно используют две сварочные головки с обеих сторон трубы. Вторая сварочная головка начинает сварку только тогда, когда первая сварочная головка проработала 3 ч. Таким образом обеспечивается непрерывный двусторонний процесс сварки для всех слоев. При сварке следует обратить внимание на выбор защитного газа. Для большинства систем используют защитные газы следующего состава: 75...82 % Ar, 25...18 % CO₂.

Далее приведены фотографии головок для сварки труб разных производителей. Системы отличаются механизмом подачи проволоки, механизмом закрепления головок к трубе и т. д. Применяют катушки диаметром 200 и 300 мм, массой от 5 до 16 кг. В основном оператор должен наблюдать за процессом сварки, при этом возможны некоторые коррективы (рис. 5–9).

Для сварки корня шва начали применять металлпорошковые проволоки. Это связано с тем, что проволока сплошного сечения класса прочности 560 МПа хорошо себя зарекомендовала при температуре испытаний на ударную вязкость до -20 °С.

Испытания на ударную вязкость при температурах -40 °С и ниже показали ненадежные и нестабильные результаты, что вызвано недостаточным легированием и отсутствием запаса по вязкопластическим свойствам металла шва в корневой зоне при критических низких температурах.

Геометрические показатели разделки (зазор и притупление) определяют высоту корневого шва. При попадании в сечение ударного образца для испытаний на KCV даже 1 мм по высоте корневого слоя шва, выполненного сплошной проволокой происходит резкое снижение показателей ударной

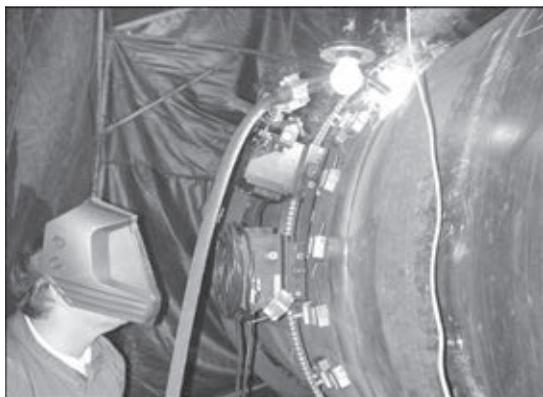


Рис. 5. Система сварки неповоротных швов фирмы «CRC Evans» (США)

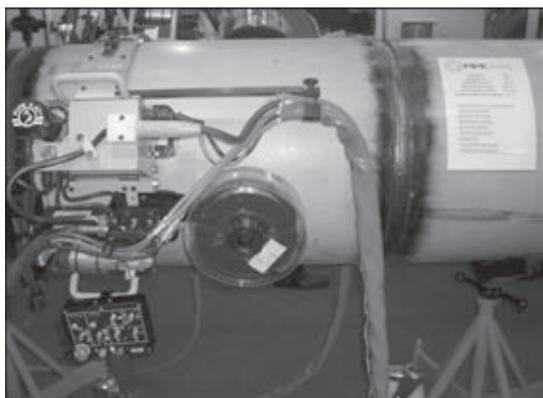


Рис. 6. Система сварки неповоротных швов фирмы «GUL-LKO» (Канада)



Рис. 7. Система сварки неповоротных швов фирмы «BUGO» (США)

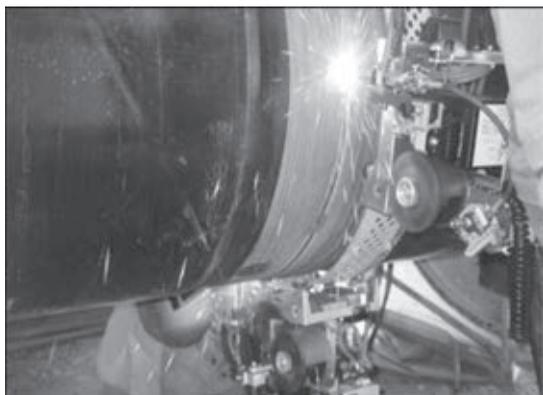


Рис. 8. Система сварки неповоротных швов фирмы «PWT» (Италия)

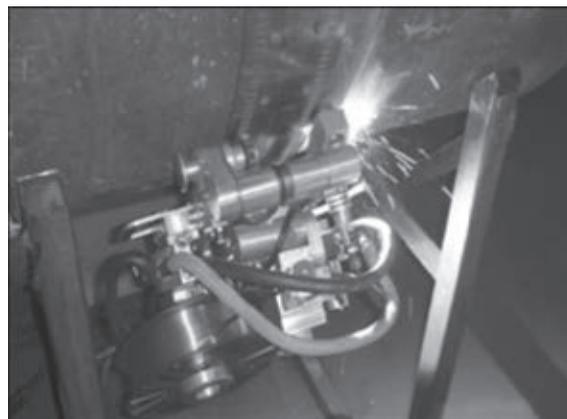


Рис. 9. Система сварки неповоротных швов фирмы «ИТС» (Россия)

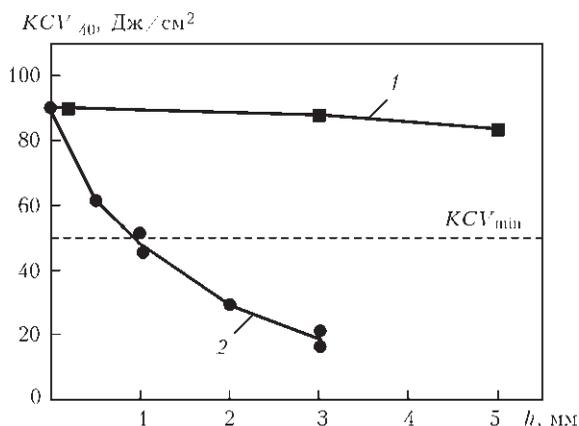


Рис. 10. Зависимость ударной вязкости металла нижних слоев шва, сваренных сплошной (1) и порошковой (2) проволоками от высоты корневого слоя шва

вязкости всего образца. Это ведет к снижению надежности процесса автоматической сварки.

На рис. 10 показана зависимость ударной вязкости нижних слоев шва, сваренных по технологии АПИ+МП, от высоты корневого слоя шва h в ударном образце*.

Из анализа рис. 10 можно сделать вывод о том, что при высоте корневого слоя шва внутри разделки более 3 мм и использовании проволоки сплошного сечения, ударная вязкость металла нижних слоев шва всегда будет резко уменьшаться. Чтобы этого не происходило, необходимо механически выпиливать лишнюю высоту корневого слоя шва, что негативно влияет на производительность автоматической сварки. При использовании металлпорошковой проволоки ударная вязкость металла из нижних слоев шва не зависит от высоты корневого слоя. Механического удаления «лишнего» металла корневого слоя при этом не требуется. В табл. 2 приведены рекомендуемые параметры

* Карасев М. Б. Новые технологии, оборудование и материалы ЗАО НПФ «ИТС»// V Междунар. науч.-техн. семинар «Технологии контактной, дуговой и специализированных видов сварки в современной промышленности», Санкт-Петербург, 16–18 мая 2012 г. – С.-Пб, 2012. – С. 126–141.

Таблица 2. Параметры неповоротной сварки труб металлопорошковой проволокой

Слой шва	Направление сварки	Скорость подачи проволоки, см/мин	Род тока, полярность	Сила тока, А	Напряжение на дуге, В	Вылет проволоки, мм	Скорость сварки, см/мин
Корневой	На спуск	60...150	= (+)	90...130	14,0...17,0	5...16	18...23
Горячий проход	->-	620...660	->-	230...250	23,0...25,0	7...12	40...45
Заполняющий	На подъем	530...600	->-	200...220	22,0...23,5	10...15	30...35
Облицовочный	->-	520...600	->-	190...220	22,0...23,5	10...15	30...35

Таблица 3. Ударная вязкость металла шва сварных соединений, выполненных рутиловой порошковой проволокой

Маркировка образца	Расположение надреза	Температура испытания, °С	Сечение образца, мм	Работа разрушения КV, Дж	Ударная вязкость КСV, Дж/см ²	Усредненная ударная вязкость КСV, Дж/см ²
2-5-1	Металл шва снизу	-40	8,04×10,00	85,8	106,7	113,7
2-5-2			8,06×10,01	88,2	109,3	
2-5-3			8,06×10,01	100,8	124,9	
2-5-4		-20	8,05×10,00	114,0	141,6	139,3
2-5-5			8,02×10,00	114,6	142,9	
2-5-6			8,04×10,01	107,4	133,4	
2-51-1	Металл шва сверху	-40	8,05×10,01	88,8	110,2	102,7
2-51-2			8,03×10,00	91,8	114,3	
2-51-3			8,04×10,01	67,2	83,5	
2-51-4		-20	8,05×10,00	105,6	131,2	138,1
2-51-5			8,04×10,02	118,2	146,7	
2-51-6			8,05×10,00	109,8	136,4	

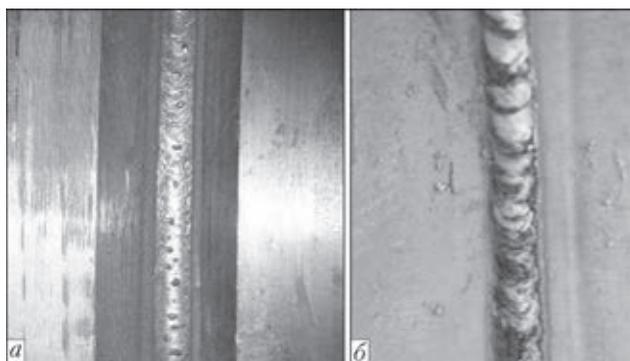


Рис. 11. Внешний вид при сварке металлопорошковой проволокой корня шва (а) и обратной стороны (б)

для сварки труб. На рис. 11 показан, как пример, внешний вид корня шва на трубе, полученный сваркой металлопорошковой проволокой.

В табл. 3 приведены значения ударной вязкости металла шва, полученные сваркой, при этом заполняющие и облицовочные слои шва выполнены рутиловой порошковой проволокой, а корневой слой — сплошной. На рис. 12 показан макрошлиф такого соединения.

Таким образом, приведенные данные позволяют говорить о преимуществах применения по-

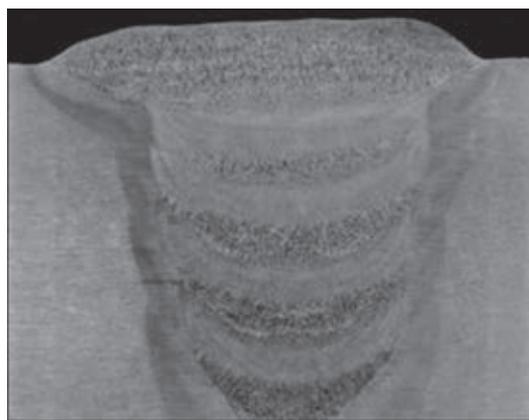


Рис. 12. Макрошлиф (увелич. 3,5) сварного соединения, выполненного рутиловой порошковой проволокой

рошковых проволок по сравнению со сплошными и электродами при изготовлении трубопроводов. Применение порошковых проволок обеспечивает высокую экономичность по сравнению с технологией сварки электродами и хорошие механические показатели.

Перспективность применения порошковых проволок подтверждена приведенными в статье примерами.

Поступила в редакцию 30.04.2014