



## ОПЫТ ПРОИЗВОДСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ БЕСШОВНОЙ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СВАРКИ\*

В. Н. ШЛЕПАКОВ, д-р техн. наук, А. С. КОТЕЛЬЧУК, канд. техн. наук  
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Рассмотрены особенности конструкции бесшовных порошковых проволок, предназначенных для электродуговой сварки. Проанализированы их технические и экономические преимущества и недостатки. Описаны технологические схемы изготовления бесшовных порошковых проволок с заполнением предварительно сваренной трубной заготовки, а также с поточным заполнением U-образного профиля заготовки трубки флюсом с последующей сваркой продольного стыка оболочки проволоки.

*Ключевые слова:* электродуговая сварка, бесшовная порошковая проволока, технологический процесс изготовления порошковой проволоки, ее преимущества и недостатки

Порошковой называют проволоку, имеющую порошковый или флюсовый сердечник, который заключен в металлическую оболочку (рис. 1). К порошковым относят также проволоки, у которых сердечник состоит из смеси металлических порошков или только металлического порошка. Такая проволока называется metal-core, т. е. проволока с металлическим сердечником. В качестве оболочки при изготовлении порошковой проволоки используют металлическую заготовку, способную подвергаться значительной пластической деформации (формовке, редуцированию) [1].

Среди порошковых проволок, предназначенных для электродуговой сварки сталей, особо выделяют так называемые бесшовные порошковые проволоки, сердечник которых заключен в цельную оболочку. Благодаря герметичности конструкции такие порошковые проволоки отличаются рядом специфических свойств, которые сложно, а зачастую практически не возможно получить в вальцованных порошковых проволоках, имеющих стык в оболочке.

**Технические решения по изготовлению порошковых проволок.** Одним из первых был опробован способ изготовления порошковой проволоки из крупных отливок или поковок. Технология изготовления проволоки сплошного сечения достаточно хорошо отработана в металлургическом и метизном производстве. Однако заполнение крупной заготовки порошковым наполнителем вызывает серьезные технические трудности уже

на стадии первичной обработки — горячей прокатки. При традиционных способах прокатки по схеме формовки круг–квадрат–круг происходит разрушение заготовок даже при их незначительном заполнении. Изменение схемы формовки проката или включение операции ротационнойковки приводит к существенному удорожанию переделов. Тем не менее до настоящего времени эту технологию продолжают ограничено применять. К ее преимуществам можно отнести использование известных технических средств и способов обработки металла для получения достаточной герметичной проволоки, поскольку ее сердечник

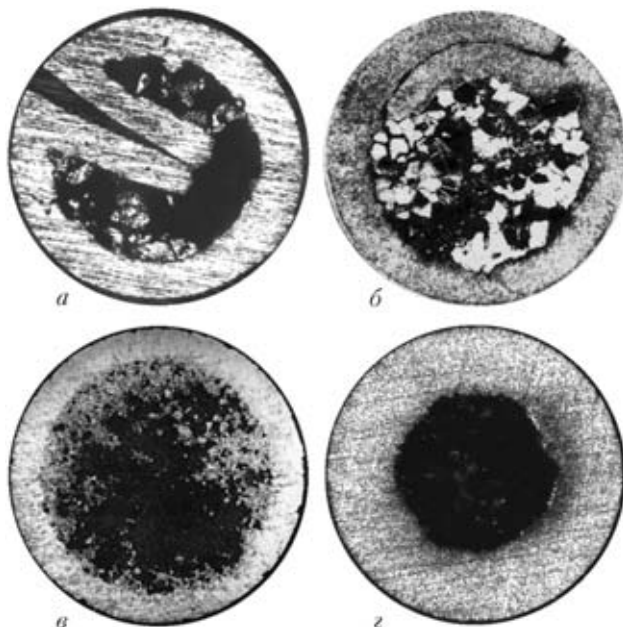


Рис. 1. Различные конструкции оболочек порошковых проволок: а — вальцованная с двойным загибом кромок; б — вальцованная с нахлестом кромок; в — бесшовная проволока, полученная путем поточного заполнения U-образного профиля заготовки трубки флюсом с последующей сваркой продольного стыка оболочки проволоки; г — бесшовная, полученная путем заполнения предварительно сваренной трубной заготовки

\* По материалам доклада, представленного на V международной конференции «Сварочные материалы. Технологии. Производство. Качество. Конкурентоспособность» (г. Артемовск, 7–11 июня 2010 г.).

надежно защищен от увлажнения. К недостаткам указанной технологии можно отнести сложность в решении металлургических задач при многократном нагреве заготовки, потребность в большом количестве оборудования и высокие энергозатраты при производстве.

Получение герметичной проволоки и возможность применения для ее обработки известных технологий лежит в основе способа изготовления порошковой проволоки из трубной заготовки. При этом используют длинномерную сварную трубку с продольным швом, к качеству которого предъявляют высокие требования.

За последние десятилетия разработаны промышленные технологии изготовления бесшовной порошковой проволоки из толстостенных лент в единой технологической линии — формовка, заполнение флюсом, сварка стыка оболочки, редуцирование и достижение необходимого диаметра. Положительные результаты получены при сварке трубчатой оболочки высокочастотной контактной сваркой, а в последнее время — лазером.

Преимуществами указанной технологии являются отсутствие горячей прокатки, герметичность полученной проволоки, возможность применения традиционных процессов редуцирования, термической обработки и нанесения защитного покрытия, а недостатками — необходимость решать металлургические проблемы при создании композиций сердечника и термообработке заготовки проволоки, применять агломерированный флюс высокого качества, приготовленный по специальным формулам, а также значительные энергозатраты. Тем не менее этот способ реализуется в промышленности ряда стран (фирмы «Air Liquid Welding Group—Oerlikon», Франция—Швейцария, «Drahtzug Stein», Германия, «Nippon Steel», Япония).

Основные особенности бесшовных порошковых проволок следующие:

сердечник не увлажняется, в связи с этим гарантируется содержание в наплавленном металле диффузионного водорода менее  $5 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ ;

омеднение поверхности дает определенную защиту от коррозии поверхности и обеспечивает лучший электрический контакт, способствует надежному сплавлению кромок;

для придания специальных свойств металлу шва можно использовать легирующие и микролегирующие элементы;

обеспечивается стабильность формы проволоки по всей ее длине, что позволяет применять подающие механизмы с одной парой роликов;

производительность сварки повышается примерно в 1,5 раза по сравнению с проволокой сплошного сечения.

Основные технологические преимущества бесшовных порошковых проволок достигаются благодаря ультранизкому содержанию водорода в ме-

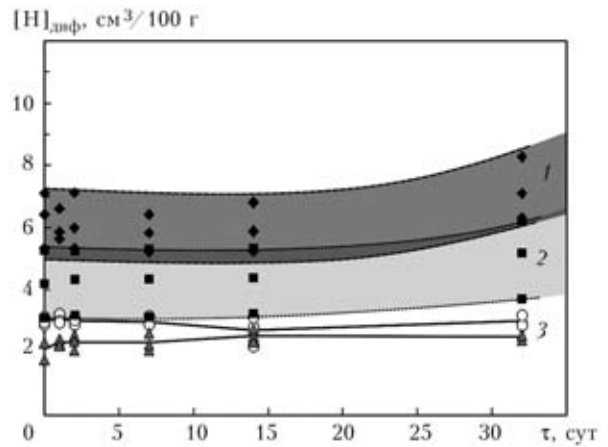


Рис. 2. Содержание диффузионного водорода  $[H]_{\text{диф}}$  в металле, наплавленном порошковыми проволоками различных типов: 1 — бесшовная [3]; 2 — вальцованная, но обработанная шихтой и поверхностью; 3 — обычная вальцованная проволока после хранения в условиях цеха [3];  $\tau$  — время выдержки

талле шва, что дает возможность избежать появления холодных трещин при сварке высокопрочных сталей или снизить температуру необходимого подогрева перед сваркой [2].

Благодаря отсутствию щели в оболочке порошковой проволоки и защитному покрытию на ее поверхности гарантируется низкое содержание диффузионного водорода в наплавленном металле даже при длительном хранении проволоки (рис. 2).

Точность подачи бесшовной порошковой проволоки к точке сварки по данным работы [3] в большинстве случаев намного выше, чем вальцованных порошковых проволок (рис. 3). Возможными дефектами, возникающими вследствие чрезмерного давления подающих роликов на бесшовную проволоку, являются незначительные продольные углубления на поверхности проволоки [4].

Бесшовные порошковые проволоки имеют определенные недостатки технического и экономического характера: практически отсутствие возможности производства самозащитных проволок; ограничения в отношении введения в сердечник легкоплавких веществ; необходимость использования жидких стекол для агломерированного флюса; капитальные затраты на производство бесшовной проволоки на порядок выше, чем вальцованной порошковой проволоки; значительные энергозатраты при изготовлении; высокие цены на готовый продукт (например, на бесшовную порошковую проволоку в 1,5...2,0 раза выше, чем на вальцованную).

Большинство мировых производителей порошковой проволоки используют технологию ее изготовления из холоднокатаной ленты. При этом проволоку получают на одной технологической линии, которая включает агрегат формовки про-

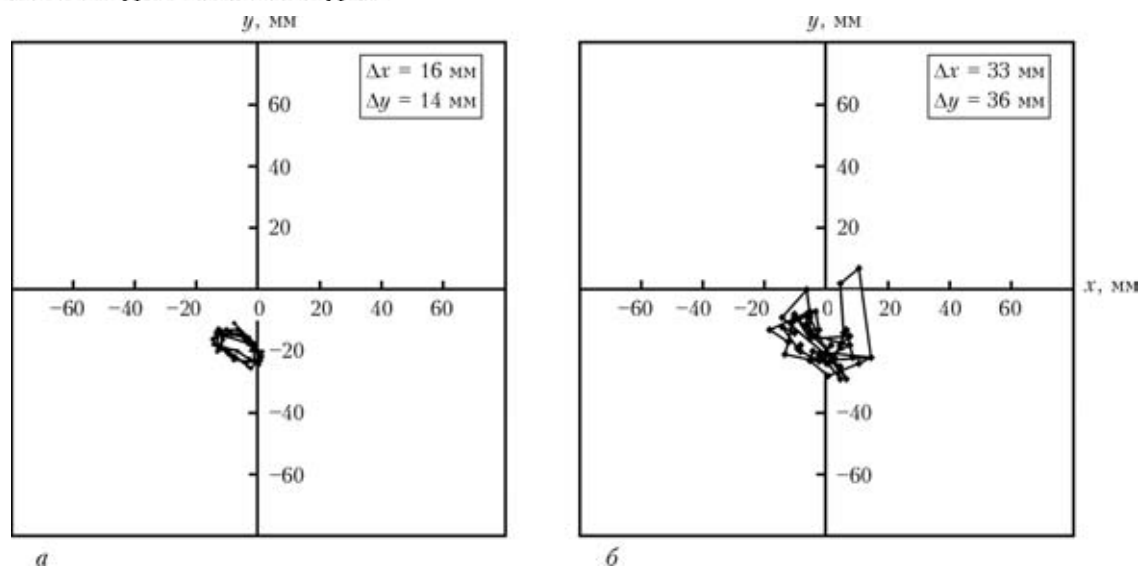


Рис. 3. Точность подачи бесшовной (а) и вальцованной (б) порошковых проволок диаметром 1,2 мм при вылете 150 мм к точке сварки прямой сварочной горелкой [3] (вид сверху на плоскость сварки, ось ординат указывает направление движения сварочной горелки):  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  — среднее отклонение точки попадания проволоки от точки прицеливания соответственно поперек и вдоль направления сварки

волоки различной конструкции со встроенной операцией непрерывного заполнения смесью порошков и волочильный многократный стан, где осуществляется редуцирование проволоки до требуемого размера.

Преимуществами такой технологии изготовления порошковой проволоки является малое количество оборудования и персонала, низкие энергозатраты, возможность получения проволок широкой номенклатуры с оперативной перестройкой производства. В этой технологии используется ролликовое редуцирование, различные способы получения заготовок проволоки и обработки поверхности готовой проволоки для нанесения покрытия, что придает ей специальные свойства.

Поставка порошковой проволоки осуществляется исключительно с применением стандартизированных способов намотки и упаковки. Так, пластиковые катушки или проволочные каркасы с проволокой упаковывают в пленку или фольгу, а затем в картонные, металлические или пластиковые контейнеры типа «Marathon». Согласно стандартам ISO предусмотрено использование сквозной инспекции со строгим документированием процедур. При этом широко применяют современную технику управления производственным процессом, привлекают квалифицированный персонал, обеспечивающий стабильное качество продукции.

Обобщенные сведения о производстве и применении порошковых проволок для электродуговой сварки в сравнении с проволоками сплошного сечения представлены в таблице.

**Технология изготовления бесшовной порошковой проволоки.** Из существующих основных технологических процессов изготовления

бесшовной порошковой проволоки процесс, предусматривающий заполнение готовой (предварительно сваренной) трубки флюсом, существенно отличается от процесса поточного заполнения трубки флюсом (шихтой) с последующей сваркой стыка оболочки проволоки током высокой частоты или лазером.

В ИЭС им. Е. О. Патона проведены исследования и опытно-промышленные работы по ряду способов изготовления бесшовных порошковых проволок, начиная с изготовления горячей прокаткой различных заготовок и включая перечисленные выше способы. Работы по конкретным проблемным вопросам технологии производства бесшовных порошковых проволок и специализированного оборудования продолжают и в настоящее время.

В этих вопросах выделим те аспекты, которые, по мнению наших специалистов, являются существенными для достижения желаемых результатов.

*Бесшовная порошковая проволока с заполнением предварительно сваренной трубной заготовки* [4]. Исходная заготовка представляет собой ленту из низкоуглеродистой стали горячего (после травления и нейтрализации) или холодного проката, которая разматывается через накопитель-регулятор и поступает в формовочную приводную машину для формирования в трубку с прорезью (зазором) с высокой точностью выравнивания кромок. Следующим технологическим этапом в поточной схеме является получение стыкового соединения высокочастотной контактной сваркой с контролируемым термическим циклом, а также редуцирование и калибровка трубной заготовки. Трубная заготовка наматывается в бунты и подвергается очистке, а затем инспекции качества.

**Преимущества и недостатки порошковых проволок по сравнению с проволоками сплошного сечения**

Сварочные порошковые проволоки	Недостатки	Преимущества
<i>Общего характера</i>		
Бесшовные трубчатые	Отсутствие возможности производства само-защитных проволок Существенные ограничения по введению легкоплавких веществ Необходимость использования жидкого стекла для изготовления наполнителя — агломерированного флюса	Возможность достижения высоких показателей свойств (в частности, ударной вязкости) при низкой температуре Малая склонность к образованию трещин, особенно индуцированных водородом, в металле шва и сварном соединении Высокие технологические свойства при сварке в защитных газах Возможность микролегирования для обеспечения особых свойств металла сварного шва
Вальцованные	Трудность с обеспечением низкого содержания водорода (необходимость сушки, про-калки) Высокий уровень выделения дыма при сварке самозащитными проволоками	Возможности достижения высоких показателей прочности и вязкопластических характеристик при сварке низколегированных и легированных сталей Высокие технологические сварочные свойства Возможность осуществления сварки без дополнительной защиты Высокая производительность процесса сварки (особенно для проволок типа metal-core)
Сплошного сечения	Необходимость обеспечения комплексного легирования Потери электродного металла на разбрызгивание Необходимость использования дополнительной защиты расплавленного металла	Высокая стабильность получения заданного химического состава и свойств при низком уровне легирования Надежность подачи по шлангам сварочных полуавтоматов Удобство при использовании в роботизированных процессах сварки Отсутствие шлаковой корки на поверхности шва
<i>Технико-экономические</i>		
Бесшовные трубчатые порошковые	Высокие затраты на производство, значительное энергопотребление Высокие цены на готовый продукт Затраты на удаление шлака	Возможность омеднения или нанесения покрытий других типов на поверхность проволоки Применение при различных способах механизированной и автоматической сварки Более длительный срок хранения с сохранением сварочных свойств Использование при сварке легированных сталей
Вальцованные порошковые	Сложности подачи проволок с тонкой оболочкой Затраты на удаление шлака (за исключением проволок типа metal-core)	Применение для всех способов автоматизированной и роботизированной электродуговой сварки и наплавки Возможность очистки и обработки поверхности специальными покрытиями Адаптация к условиям сварки (использование на монтаже) Невысокая стоимость изготовления, особенно проволок легированных типов
Сплошного сечения	Затраты на удаление брызг и доведение формы шва Высокая стоимость проволок легированных типов	Возможность нанесения любых типов покрытий на поверхность Пригодность для всех механизированных и роботизированных способов сварки Более длительный срок хранения с сохранением сварочных свойств Низкая стоимость изготовления, особенно проволок низколегированных типов

Последующий этап — это промежуточный отжиг и протяжка трубки на расчетный размер для заполнения флюсом. Отжиг выполняют при температуре 600...670 °С в шахтных печах, обогреваемых с помощью газа или электричества, и хотя отжиг при этом неполный, он позволяет устранить последствия холодной деформации и снять внутренние напряжения.

Основной специализированный этап изготовления порошковой проволоки включает две операции — намотку трубной заготовки на каркас (катушку) и вибрационное заполнение агломерированным флюсом. Намотка выполняется рядо виток к витку с жесткой фиксацией. Как правило, на катушку наматывается от 500 до 1000 м труб-

ной заготовки. При этом исходные размеры труб составляют от 9 до 15 мм в диаметре (снаружи), а толщина стенок трубы — от 1,8 до 2,0 мм.

В зависимости от мощности привода на установке виброзаполнения закрепляют одну или две катушки с трубной заготовкой. Вибрационный стол приводится в рабочий режим вибрации мощным электродвигателем с короткозамкнутым ротором (трехфазным). Вибротранспортер совершает быстрые синусоидальные колебания, регулируемые дебалансной массой. Благодаря симметричным, косо направленным движениям носителя частицы флюса приводятся в движение в обе стороны по эллиптической траектории вдоль окружной направляющей. В установившемся режиме



порошок-наполнитель плавно движется по трубной заготовке до полного ее заполнения (рис. 4).

Порошок может подаваться в трубную заготовку из бункера через соединительный шланг. При этом на свободный конец трубной заготовки надевается прозрачный шланг для контроля полного прохода порошка. По схеме, разработанной ИЭС им. Е. О. Патона, флюс-порошок с контролируемой скоростью подается в трубную заготовку специальным узкоструйным дозатором, что исключает образование «пробок» и выбросы порошка воздушным потоком, вытесняемым из трубки. Выходной конец трубной заготовки замыкается дроссельной вставкой [5]. Установка конструкции ИЭС им. Е. О. Патона оснащена также прибором непрерывной регистрации траектории вибрационных колебаний, что важно как при настройке рабочего режима, так и при заполнении заготовки, учитывая, что масса заполняемой заготовки порошковой проволоки возрастает к моменту завершения процесса на 15...20 %.

Агломерированный флюс для порошковой проволоки изготавливают по традиционной схеме. Его сушку-прокалку выполняют при температуре 250...300 °С. При этом учитывается, что высокотемпературную прокалку продолжают при промежуточном отжиге полуфабриката бесшовной порошковой проволоки.

Изготовление порошковой проволоки из заполненного флюсом полуфабриката включает следующие операции: промежуточные сухое волочение и отжиг, чистовое волочение до заданного размера и нанесение медного покрытия.

Промежуточное волочение в основном выполняют с использованием волочильных станов (пяти- или шестикратных) с диаметром волочильных барабанов 600 мм и скоростью протяжки 5...6 м/с. Промежуточный отжиг выполняют при диаметре проволоки 5,4...5,5 мм (диаметр исходной заготовки 11...12 мм) и 4,7...4,8 мм (диаметр исходной заготовки 9...10 мм). Если необходимо получить проволоку диаметром 1,0...1,2 мм, то

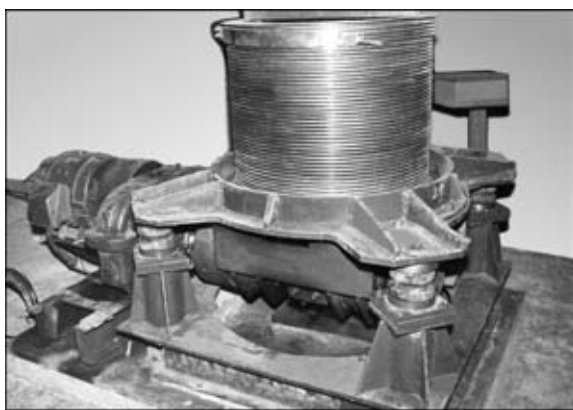


Рис. 4. Спирально-вибрационный дебалансный конвейер для заполнения трубных заготовок шихтой, разработанный в ИЭС им. Е. О. Патона

отжиг желательно проводить при промежуточном диаметре проволоки 3,6 мм.

Заключительное волочение, омеднение и намотка на товарные носители (катушки, каркасы) и формовка проволоки в бунты при поставке в контейнерах типа «Marathon» — широко известные операции при изготовлении большинства типов порошковых проволок.

Отличительной особенностью технологии производства бесшовной порошковой проволоки является контроль заполнения проволоки шихтой (флюсом) перед омеднением [4].

Прибор конструкции фирмы «Oerlikon» типа FKG предусматривает применение датчика щелевого типа, а прибор типа КЗП разработки Физико-механического института им. Г. В. Карпенко НАН Украины (г. Львов) — двухконтурного датчика [6]. Оба прибора включают систему измерения магнитного потока насыщения сечения металла. Для повышения точности измерений используют дифференциальный метод (сравнение проверяемой трубки с эталонной). При этом фиксируются недозаполненные участки проволоки. Однако регистрация колебаний при заполнении проволоки требует индивидуальной настройки измерительных модулей при контроле каждого типа проволоки.

*Бесшовная порошковая проволока в поточном производстве.* Наиболее часто применяемыми для изготовления бесшовной порошковой проволоки являются два близких по схеме процесса, в которых заполнение формуемой трубки, последующее замыкание профиля и сварка выполняются последовательно в потоке с формовкой и редуцированием трубки, заполненной флюсом. Поточность осуществляемых операций позволяет избежать смещения порошкового наполнителя до его уплотнения при редуцировании.

По сути однотипной с ранее рассмотренной является технология изготовления агломерированного флюса, которая включает ряд известных операций: изготовление сухой смеси по рецептуре, смешивание сухой смеси с жидким стеклом, окатывание гранул, прокалку флюса, его просеивание, а после этого дробление крупных фракций. Отличается в более высокой температуре сушки-прокалки (обычно 350 °С) и выдержке до охлаждения в плотных стальных контейнерах перед просеиванием флюса для снижения содержания водорода. Такая технологическая операция может быть достаточной для изготовления порошковых проволок рутилового типа и недостаточной для проволок низководородного типа, если при этом не предусмотрена последующая дегазация (прокалка).

*Бесшовная порошковая проволока с поточным заполнением трубки флюсом и сваркой стыка трубки лазером.* Технология рассчитана на относительно небольшое производство. В зависи-

мости от комплектации одной технологической линии может быть достигнут объем выпуска продукции от 1 (при двухсменной работе) до 2 тыс. т/год (при трехсменной работе).

В основу технологии положено формирование U-образной трубной заготовки, засыпка в ее профиль дозированного порошка, роликовое замыкание и лазерная сварка стыка трубки с последующим охлаждением и редуцированием проволоочной заготовки методом холодной прокатки до получения полуфабриката. Редуцирование полуфабриката выполняется в две стадии холодной прокатки с использованием четырех- или восьмиклетьевых обжимных роликовых машин до получения проволоки заданного диаметра (1,2, 1,4 и 1,6 мм). При проведении редуцирования может выполняться промежуточный низкотемпературный отжиг полуфабриката. Последующие заключительные операции (финальная калибровка, очистка, омеднение и намотка на товарные носители) являются типичными для всех способов изготовления бесшовной порошковой проволоки.

Основная часть процесса до получения заготовки проволоки из ленты холодного проката выполняется в одной технологической линии, оснащенной установкой размотки ленты с катушек. Такие технологические катушки вмещают до 1 т ленты. Через регулятор натяжения лента поступает на устройство подготовки кромок, а далее — на агрегат жидкостного обезжиривания ленты. Подготовленная лента поступает в формовочную машину со встроенным дозатором флюса. Замкнутая трубная заготовка с фиксированным положением стыка оболочки трубки подается на участок лазерной сварки. Приемлемое качество сварки достигается при мощности  $\text{CO}_2$ -лазера от 6 до 10 кВт и скорости сварки до 15 м/мин. В секцию обжатия заготовки пятиклетьевого роликового стана сваренная заготовка подается после камеры охлаждения. Результатом поточного процесса является полуфабрикат порошковой проволоки диаметром от 7,0 до 7,5 мм, который наматывается на технологическую катушку.

Следующий этап включает двух- или четырехстадийную холодную прокатку полуфабриката до заданного размера. Стадии этого процесса исходя из диаметра проволоки располагаются в таком порядке: на первом стане на входе 7,0... 7,5 мм, на выходе до 3,0 мм, с промежуточным диаметром 4,6 мм; на втором стане на входе 3,0 мм, на выходе 1,2 мм, с промежуточным диаметром 1,9 мм.

Технико-экономические показатели производства свидетельствуют о том, что эта технология не является высокочрезвычайно затратной благодаря рациональному использованию оборудования и небольшим капиталовложениям в автоматизацию и контрольно-измерительную технику (в частности, за-

полнение U-образного профиля ленты шихтой контролируется прибором, измеряющим уровень слоя флюса в профиле). Использование небольших технологических емкостей унифицированных размеров способствует снижению затрат, но при этом необходимы дополнительные перегрузки и соответствующие настройки оборудования, вследствие чего коэффициент использования основного оборудования не превышает 0,80...0,85.

В ИЭС им. Е. О. Патона были исследованы основные процессы технологии и выработаны решения по качественной очистке ленты и проволоки, непрерывному контролю и мониторингу заполнения проволоки флюсом. В настоящее время продолжают работы, связанные с совершенствованием технологии лазерной сварки, реализация которой в современном производстве является недостаточно надежной.

*Бесшовная проволока с поточным заполнением трубки флюсом и высокочастотной контактной сваркой.* Технология рассчитана на поточное массовое производство с высоким качеством и уровнем управления автоматизированными системами. Принципиальная схема основного технологического процесса (до получения полуфабриката порошковой бесшовной проволоки) аналогична описанной выше. Основное отличие заключается в способе сварки стыка трубки. В данной технологии используется индукционно-контактная высокочастотная сварка с контролируемыми параметрами. Основными составляющими технологической схемы являются качественная (по точности) формовка трубчатого профиля без замыкания кромок, заполнение заготовки флюсом с использованием автоматизированного дозатора, замыкание кромок профиля, сварка продольного стыка трубки, контролируемое охлаждение, редуцирование заполненной флюсом трубки до уплотнения сердечника и калибровка (при необходимости с предварительным снятием грата) [3].

Стабильное качество сварки обеспечивается системой автоматического управления, поддерживающей заданный уровень тепловложения при изменении скорости движения трубки. Если при использовании стандартного оборудования для высокочастотной сварки колебания температуры в центре стыка достигают 150...170 °С, то система управления позволяет удерживать колебания температуры в пределах  $\pm 12$  °С от заданной (около 1250 °С).

После сварки заполненная порошком трубка охлаждается. При этом контролируется скорость воздушного охлаждения до температуры ниже 500 °С (температуры мартенситного превращения).

Редуцирование заполненной трубки для уплотнения сердечника и калибровка по форме и размеру производится в потоке на формующей установке (роликовые клетки 4×4). В эту операцию дополнительно включен блок контроля качества



сварки трубки различными методами неразрушающего контроля (с помощью ультразвука, вихревых токов).

После прохождения основной стадии изготовления заготовка бесшовной проволоки подвергается отжигу на поточных агрегатах с использованием индукционного нагрева. Эта операция особенно важна при изготовлении порошковых проволок с оболочкой из нержавеющей стали.

Дальнейший технологический процесс проходит по типовой технологии, включающей роликовую холодную прокатку, волочение через стандартные или роликовые волоки. Заключительные операции очистки, омеднения и намотки на товарные носители выполняются с помощью типового оборудования для производства проволок.

Следует учесть, что затраты мощности оборудования существенно зависят от диаметра и толщины стенки трубной заготовки, а также скорости формовки и редуцирования. Так, электрическая мощность установки высокочастотной сварки при повышении рабочей скорости формовки-редуцирования от 50 до 120 м/мин возрастает от 100 до 150 кВт. Аналогично повышается мощность установки отжига полуфабриката. Несмотря на используемые технические решения и автоматизацию операций капитальные затраты на производство по этой технологической схеме велики, как и затраты на энергоносители. Такое производство будет эффективно только при больших объемах выпускаемой продукции (свыше 10 тыс. т/год) и достаточно высоких ценах на проволоку.

**Заключение.** Представленные технологии изготовления бесшовной порошковой проволоки требуют для реализации довольно значительного объема инвестиций, отличаются высокой энерго-

емкостью и требуют привлечения высококвалифицированного персонала (особенно для обеспечения качества формовки и сварки).

Технические характеристики полученного продукта имеют определенные преимущества по сравнению с проволоками сплошного сечения и вальцованными порошковыми проволоками, главным из которых является низкий уровень содержания водорода в металле сварного шва. Рыночные цены на бесшовные порошковые проволоки превышают в 1,5...2,0 раза цены на вальцованные порошковые проволоки, в связи с этим необходимо находить специфический сектор рынка сварочных материалов, где достигаемые преимущества будут оправдывать затраты.

1. *Производство порошковой проволоки* / И. К. Походня, В. Н. Шлепаков, В. Ф. Альтер и др. — Киев: Виц. шк., 1980. — 231 с.
2. *Yurioka Nobutaka, Kasuya Tadashi. A chart method to determine necessary preheat temperature in steel welding* // Quarterly J. Jap. Weld. Soc. — 1995. — 13, № 3. — P. 347–357.
3. *Shimura K. Seamless flux cored wire: Presentation of «Nippon Steel & Sumikin Welding Co., Ltd.»*, Japan intern. welding show 2008, Tokyo, Apr. 9–12, 2008. — 18 p.
4. *Самородов И. Г. Особенности производства и применения бесшовных порошковых проволок* // Материалы Междунар. науч.-практ. конф. «Сварочные и родственные технологии при строительстве, реконструкции и ремонте газопроводов», Москва, 22–23 нояб. 2007 г. — М., 2007. — 59 с.
5. *Решение задач вибрационного заполнения трубных заготовок порошковой проволоки сыпучими наполнителями* / И. К. Походня, В. Н. Потураев, А. Г. Червоненко и др. // Всесоюз. конф. по сварочным материалам: Тез. докл., Череповец, 10–14 окт. 1983 г. — Киев, 1983. — С. 30–31.
6. *Непрерывный контроль заполнения шихтой порошковой проволоки в процессе ее изготовления* / В. В. Панасюк, А. Я. Тетерко, И. К. Походня и др. // Автомат. сварка. — 1975. — № 5. — С. 48–49.

Design features of seamless flux-cored wires designed for electric arc welding are considered. Their technical and economic advantages and disadvantages have been analyzed. Process flowcharts of manufacturing seamless flux-cored wires with filling of the pre-welded tubular billet, as well as with continuous U-shaped profile of tube billet with subsequent welding of wire shell longitudinal butt are described.

Поступила в редакцию 21.07.2010

## **РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ В ПРОИЗВОДСТВО ТЕХНОЛОГИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСВАРКИ ЖИВЫХ ТКАНЕЙ** (Инновационный проект НАН Украины, выполненный в ИЭС им. Е. О. Патона)

*Разработан источник питания нового поколения и алгоритм его работы для ВЧ-сварки живых тканей с частотой 440 кГц, который прошел натурные испытания на животных в ИЭС им. Е. О. Патона. Разработана и проверена на практике новая концепция электрохирургического инструмента, предназначенного для массового применения. Проведено исследование с регистрацией электрических параметров при ВЧ-сварке живых тканей и анализ влияния параметров и алгоритмов управления процессов на качество сварных соединений, в том числе непосредственно в клинических условиях. Полученные результаты являются основой для дальнейших разработок нового оборудования и систем управления процессом.*