

СОВРЕМЕННЫЕ ЭЛЕКТРОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И СПОСОБЫ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СВАРКИ ПЛАВЛЕНИЕМ (ОБЗОР)*

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

Проанализированы современное состояние и существующие проблемы в области разработки материалов для сварки углеродистых и низколегированных сталей: покрытых электродов, проволок сплошного сечения и порошковых проволок. Рассмотрены перспективные технологии их применения, а также организационные и экономические аспекты производства и применения электродных материалов.

Ключевые слова: электродуговая сварка, углеродистые и низколегированные стали, покрытые электроды, проволоки сплошного сечения, порошковые проволоки

Сварочное производство как часть мировой экономики, связанной с изготовлением металлических конструкций, испытывает в последние годы существенное влияние спадов и подъемов в финансовой и деловой активности. Предприятия и организации, сферой деятельности которых являются изготовление и применение электродных материалов для дуговой сварки плавлением, стремятся оперативно адаптироваться к динамично изменяющимся потребностям рынка.

Производителям сварочных материалов для планирования и обеспечения устойчивого функционирования предприятий важно опираться на статистические данные и прогнозы в отношении тенденций изменения потребностей рынка как в целом, так и по конкретно производимым материалам с оценкой конкурентоспособности в каждой области их применения.

Основную группу электродных материалов массового и специализированного назначения для сварки и наплавки составляют штучные покрытые электроды, проволоки сплошного сечения и порошковые проволоки. Механизированные и автоматизированные процессы сварки проволоками предусматривают использование дополнительных присадочных и защитных материалов (флюс, газ), за исключением порошковых проволок. Общей тенденцией в изменении структуры производства и применения электродных материалов, особенно в развитых в экономическом отношении странах Юго-Восточной Азии (Япония, Южная Корея, КНР), Америки (США, Канада, Бразилия) и Европы (Великобритания, Германия, Франция, Италия, Голландия и др.), является устойчивый рост

использования материалов для механизированной и автоматизированной (включая роботизированную) сварки. В последние годы в число развивающихся конкурентоспособных способов сварки плавлением вошли такие технологические процессы, как лазерная сварка и ряд гибридных и комбинированных процессов, что стало возможным благодаря бурному развитию микроэлектроники, а также применению современных систем автоматического управления.

Покрытые электроды. Штучные электроды с покрытием являются наиболее широко применяющимся электродным материалом, универсальным с точки зрения организации процесса сварки в заводских и монтажных условиях. Обустройство сварочного поста требует небольших капитальных вложений в оборудование, а расходы на электроды относительно невелики.

К недостаткам, присущим процессу сварки штучными электродами, относятся невысокая производительность плавления, обусловленная низкой плотностью тока, потери части материала на огарки, а также зависимость качества сварки от квалификации сварщика. В то же время возможности регулирования сварочных свойств путем изменения состава покрытия велики, что позволяет сохранять высокую конкурентоспособность этого материала при механизированных способах сварки.

Уровень технологии изготовления и поставки заказчиком электродов на ведущих предприятиях стран СНГ существенно вырос и приблизился к мировому по основным показателям. Решены вопросы качества нанесения покрытия, стартового участка, маркировки, расфасовки и упаковки. Номенклатура электродов остается относительно узкой. Отчасти это связано с объективными причинами состояния рынка потребления. Тем не менее, недостаточный выпуск электродов для сварки высокопрочных, нержавеющей и жаропрочных сталей, никелевых, алюминиевых и медных сплавов, чугуна и наплавки оставляет часть

*По материалам сообщения, представленного на VI Международной конференции по сварочным материалам стран СНГ «Сварочные материалы. Разработка. Технология. Производство. Качество. Конкурентоспособность» (Краснодар, 2011). — Краснодар, 2011. — С. 193–199.



потенциального рынка свободным для закупок по импорту.

При разработке электродов недостаточно используются современные методы анализа и исследований, в частности компьютерное моделирование с применением базы данных о материалах, изучение сенсорики процесса сварки со статистической обработкой, достижения в области материаловедения, например опыт ряда зарубежных фирм по нанесению на покрытие индикаторных меток, указывающих степень влажности или температуру прокалки, что важно для электродов с основным покрытием.

Классификация покрытых электродов сближается с международными стандартами (ISO 2560A, EN 757, EN 1600 и др.) по основным требованиям и признакам, облегчающим выбор нужного типа и марки электродов потребителями. Тенденции мирового рынка свидетельствуют о необходимости увеличения объема информационного сопровождения.

Кроме показателей механических свойств, химического состава, содержания водорода и данных по параметрам режимов для различных положений сварки, необходимо приводить сведения о рентгеновской плотности, сопротивляемости образованию трещин, проплавлению основного металла, разбрызгиванию, отделимости шлака, характеристикам сварочного аэрозоля и т. п. Более подробная информация в рекламных материалах и сопроводительной документации вызывает доверие потребителей и снижает вероятность предъявления претензий, связанных с недостаточной информированностью.

Большую роль в стабильности производства покрытых электродов, как и других электродных материалов, играют формы организации экономических связей с потребителями. Актуально стимулирование потребителей к применению современных источников питания с обратной связью, позволяющих сварщику с держателя электрода дистанционно подстраивать параметры сварки.

Проволоки сплошного сечения. В ведущих в экономическом отношении странах мира проволоки сплошного сечения для электродуговой сварки составляют более половины всего производства сварочных материалов. Области применения по способу защиты зоны плавления разделяются на сварку в защитных газах и сварку под флюсом, по степени автоматизации — на механизированную (полуавтоматическую), автоматическую и роботизированную. При разделении по классам свариваемого металла проволоки используют преимущественно для сварки углеродистых и низколегированных, нержавеющей сталей, а также алюминиевых и титановых сплавов. Для достижения требуемых служебных свойств сварных соединений возможно регулирование по-

казателей за счет состава не только проволоки, но и защитного материала (моногазы или смеси, агломерированные или плавленые флюсы).

Плотность тока при сварке проволоками сплошного сечения существенно выше, чем штучными электродами, что позволяет регулировать характеристики плавления в широких пределах, реализовать синергетические и комбинированные управляемые процессы для сварки различных металлов и объектов применения. В частности, управление переходом электродного металла в шов может обеспечить устойчивые характеристики при переносе с короткими замыканиями, капельном без замыканий, осевом струйном, пульсирующем струйном или модульно-регулируемом по поверхностному натяжению капли металла.

На основе использования современных физических и математических моделей, а также компьютерного моделирования процесса дуговой сварки плавлением созданы современные системы источников питания полупроводникового и инверторного типов с программно управляемыми характеристиками электрических параметров, связанных прямым и обратным адаптивным управлением с механизмом подачи проволоки в зону плавления. Это позволило не только обеспечить надежность выполнения алгоритма сварки, но и существенно снизить энергозатраты, устранить влияние субъективного фактора. Рациональное, программно управляемое тепловложение в металл позволило достичь повышения значений свойств сварных соединений.

Классификация сварочных проволок сплошного сечения представлена в группе международных стандартов на проволоки, защитный газ, флюс и их сочетания (EN 440, EN 439, EN 760, EN 12072 и др.). Здесь базовые показатели свойств соответствуют методологии ISO (минимальное значение предела текучести и фиксированная температура испытаний с гарантированным значением ударной вязкости).

Существует расхождение с рядом национальных стандартов по градации и номенклатуре проволок, газов и флюсов, что может создавать трудности с реализацией, в частности при поставке продукции на экспорт.

Что касается форм намотки и упаковки (требования европейского стандарта EN 759), то в этой части только передовые предприятия обеспечивают соблюдение требований международных стандартов.

В последние годы большое внимание уделяется состоянию проволоки при поставке (допуски, точность изготовления, намотки, состояние и качество поверхности). По качеству омеднения или покрытия неомедненной проволоки имеются новые решения, позволяющие не только улучшить показатели применяемости при механизирован-

ной и автоматической сварке, но и существенно уменьшить валовые выделения сварочного аэрозоля.

Порошковые проволоки. Для применения порошковых проволок в большинстве случаев требуется такое же оборудование, как и для проволок сплошного сечения. Однако в первом случае имеются определенные преимущества в технологичности, производительности и металлургической приспособляемости для сварки сталей широкой номенклатуры.

В 1974 г. в британский стандарт впервые ввели порошковую проволоку с металлическим сердечником (массовая доля неметаллических материалов не более 4 %). Сварочные порошковые проволоки классифицированы европейскими стандартами (EN 758, EN 12073) и стандартами ISO (ISO 17632, ISO 18276, ISO 17633), введенными в действие в 2004–2005 гг. Не все национальные стандарты адаптированы к нововведениям, поэтому зачастую проволоки порошковые с металлическим сердечником классифицируют по стандартам на проволоку сплошного сечения.

В производстве и применении порошковых проволок лидерство в последние годы сохраняют страны Юго-Восточной Азии (Япония, Южная Корея, КНР), где производство порошковых проволок превышает выпуск штучных электродов и приближается по объему к проволокам сплошного сечения. В США, Франции, Великобритании, Германии объемы применения порошковых проволок сравнивались с объемами ручной дуговой сварки покрытыми электродами за счет развития собственных производств, так и допуска на свои рынки производителей из Юго-Восточной Азии (Японии, Южной Кореи).

Страны СНГ существенно отстают в этой области, что способствовало приходу на эту часть рынка продукции японских, южнокорейских и ряда европейских производителей. К сожалению, подобная ситуация складывается и в сфере закупки оборудования для механизированной и автоматизированной сварки.

В структуре применения порошковых проволок основную долю составляют проволоки для сварки в защитных газах (порошковые проволоки с рутиловым, основным и металлическим сердечниками). Особую группу составляют самозащитные проволоки, позволяющие вести процесс сварки без дополнительной защиты газом или флюсом, а потому наиболее приемлемые для сварочно-монтажных работ.

После бурного роста потребления порошковых проволок (особенно газозащитных) в 1970–1980-е годы зафиксирован временный спад, вызванный объективными причинами (большой диаметр, повышенное выделение дыма, недостаточный уровень показателей свойств). К 2000 г. вновь воз-

росло потребление порошковых проволок благодаря существенному повышению качества изготовления, параметров свойств и применяемости для сварки сталей различных классов в отраслях промышленности и строительства.

Что касается порошковых проволок для сварки под флюсом, то их область применения ограничена сваркой сталей высокой прочности, где они конкурируют с проволоками сплошного сечения.

Большинство типов порошковой проволоки, в сравнении с проволоками сплошного сечения, обеспечивают лучшие технологические свойства (форму шва и провар соединения) и производительность сварки.

Среди монтажных способов автоматической сварки с применением порошковой проволоки следует выделить электрогазовую (сварку стыковых соединений с принудительным формированием шва), которая по производительности и качеству превосходит конкурирующие способы.

По способу изготовления порошковые проволоки подразделяются на вальцованные (изготовленные путем формовки холоднокатаной ленты заданного размера в круглый профиль, заполняемый порошковой смесью на промежуточной стадии формовки) и так называемые бесшовные, полученные путем заполнения агломерированным флюсом длинномерной трубной заготовки на специальных вибростендах.

В последние годы освоено заполнение трубной заготовки из ленты (штрипса) непосредственно перед сваркой продольного шва, выполняемой лазером или токами высокой частоты. Последующий процесс изготовления включает доформовку прокаткой и волочение по схеме, подобной при изготовлении проволоки сплошного сечения с применением промежуточных отжигов. Такая технология позволяет достигать низкого содержания водорода в проволоке и наносить любые виды покрытия на поверхность.

Для реализации данной технологии требуются значительные капиталовложения в оборудование и эксплуатационные расходы. В связи с этим стоимость продукции повышается в среднем вдвое, по сравнению с проволокой вальцованной.

Современные порошковые проволоки поставляются в готовом для применения виде (по стандарту EN 759) и пригодны для сварки с использованием серийного оборудования.

Перспективные технологии применения электродных материалов. Среди интенсивно развивающихся новых технологий сварки синергетические системы имеют отношение ко всем электродным материалам. Задачи, способные решать такие системы, включают мониторинг, сенсорный контроль, моделирование и программирование электрических процессов, определяющих характер горения дуги, переноса электродного ме-



талла, что позволяет оптимизировать процесс по сварочно-технологическим характеристикам, рационально использовать энергию и повысить качество сварных соединений.

Для сварочных штучных электродов это выражается в улучшении оперативных характеристик, существенном снижении влияния квалификации сварщика, уменьшении разбрызгивания и уровня выделения сварочного аэрозоля. У механизированных и автоматизированных процессов сварки проволоками сплошного сечения и порошковыми возможностями значительно шире благодаря совместному управлению скоростью подачи проволоки и электрическими параметрами дуги. При двух- и многодуговом процессах сварки появляется возможность комбинирования характеристик плавления и переноса металла, что позволяет регулировать скорость сварки и путем комбинирования проволок достигать лучших свойств сварного соединения. Такие процессы реализуются при использовании автоматической и роботизированной сварки.

Из гибридных процессов наиболее эффективно развивается направление, в котором сочетаются процессы сварки лазерным лучом и порошковой проволокой или проволокой сплошного сечения в защитных газах. Объединение высоких значений проплавляющей способности лазерного луча и производительности плавления присадочного материала в одной сварочной ванне позволяет проектировать форму и размеры сварного шва, наиболее приемлемые для сварного соединения. При этом высокая ионизирующая способность лазерной плазмы повышает стабильность дугового разряда и энерговыделение на плавление электродной проволоки.

По эффективности и адаптивности такой способ превосходит известную сварку в узкий щелевой зазор. К его недостаткам относятся повышенные требования к точности сборки соединения и существенные затраты на оборудование. Успешно реализован процесс сварки тандем в защитных газах (две проволоки в одну ванну), в котором взаимное магнитное влияние дуг электрически развязано благодаря использованию двух синхронизированных источников импульсного питания дуги. Современные миниатюрные электромеханические приводы позволяют значительно облегчать аппаратуру для монтажной сварки и даже размещать механизм подачи проволоки в сварочной горелке, что вполне приемлемо при использовании проволок малого диаметра.

Организационные и экономические аспекты производства и применения электродных материалов. Изготовление электродных материалов состоит из цепочки технологических процессов, включающих (укрупненно) подготовку сырья, изготовление заготовки продукции или

компонентов заготовки, производство товарной продукции, ее обработку и упаковку, сопровождаемых процедурами входного контроля (инспекции) — технологического и выходного (заключительного), входящих в систему управления качеством продукции.

Многие предприятия стран СНГ включают в состав производственных процессов операции, не свойственные базовой технологии изготовления товарной продукции. К их числу относят дробление и помол компонентов, варку стекла из глыбы, обработку и первичное волочение проволоки из катанки, продольный роспуск рулонов ленты на полосы и т. п., перенося ответственность за риск потерь, затраты на охрану труда и экологию на основное производство.

Современные производства в развитых странах работают по принципу специализации с использованием полностью подготовленных по требованиям изготовителя электродных, сырьевых и вспомогательных материалов, а также комплектующих, получаемых на основе календарных и долгосрочных договоров с предприятиями-поставщиками. В мировой практике поставщики охотно идут на заключение таких договоров непосредственно или через дочерние предприятия (если необходимо доведение сырья до требуемых кондиций). Мнение о том, что при обработке на месте уменьшаются затраты, давно опровергнуто международной практикой.

Проектирование построения экономических отношений эффективно на основе фьючерсов с четким отслеживанием тенденций мирового рынка. Развитие и совершенствование управления деятельностью предприятий с современной системой использования информационных технологий должны заменить устаревшую систему заказ-поставка.

Японские экономисты, связанные с рынком товаров и услуг сварочного производства, считают приоритетным перевод экономических отношений на новый уровень посредством создания устойчивых триад производитель-дилер-потребитель, позволяющих устанавливать справедливую цену и распределение доходов. Это следует учитывать, особенно в условиях перехода прав собственности и управления заводами сварочных материалов на территории стран СНГ к ведущим зарубежным фирмам и существенного обострения конкуренции по всей номенклатуре производимой продукции.

Определенную тревогу вызывают низкий уровень технического оснащения сварочного производства и засилие устаревших технологий. В этом плане изготовителям сварочных материалов для всех способов дуговой сварки целесообразно ориентироваться на использование новейших достижений в технике и технологии, отслеживая си-

туацию и стимулируя потребителей также к переходу на современный уровень оснащенности.

В решении возникающих проблем не следует полагаться только на собственный опыт, обращение к печатным техническим и рекламным изданиям. Квалифицированную помощь можно получить у специалистов ведущих научно-исследовательских и конструкторско-технологических

институтов, особенно по таким вопросам, как обоснованный выбор решения, анализ причин возникновения проблем и поиск пути их устранения, повышение квалификации персонала, оценка перспективности инноваций и т. п. В мире бурно развивающихся информационных технологий следует использовать все имеющиеся возможности.

State-of-the-art and existing problems in the field of development of materials for welding carbon and low-alloy steels are analyzed, namely: coated electrodes, solid and flux-cored wires. Challenging technologies of their application, and also organizing and economic aspects of production and application of electrode materials are considered.

Поступила в редакцию 05.08.2011

ТЕСНОСВАРКА 2011 — 6-я СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА ОБОРУДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ СВАРКИ И ТЕРМИЧЕСКОЙ РЕЗКИ

07–09.12.2011г.

Казань, Россия

Организатор: ОАО «Казанская ярмарка»

При поддержке: Министерства промышленности и торговли РТ, Ассоциации предприятий и предпринимателей РТ, Мэрии города Казани

В программе выставки

Научно-практическая конференция, круглые столы, презентации компаний, демонстрация действующих образцов оборудования. Встречи с представителями предприятий, установление новых деловых связей, обмен опытом по актуальным вопросам, заключение соглашений и договоров.

Экспозиция выставки

- Оборудование и технологии для сварки и термической резки металлов
- Оборудование для обработки поверхности
- Сварочные материалы, принадлежности, комплектующие изделия
- Оборудование и технологии для пайки
- Автоматизация сварочных производственных и технологических процессов, программное обеспечение
- Научное и информационное обеспечение
- Реновация сварочного оборудования
- Техническая диагностика
- Электронно-лучевая, лазерная, плазменная сварка и резка
- Оборудование и технологии для обработки поверхностей
- Оборудование для орбитальной сварки и обработки труб
- Спецодежда и средства индивидуальной защиты
- Контроль качества сварных соединений, основных и сварочных материалов
- Охрана труда и экологическая безопасность в сварочном производстве