



У ДК 621.791.75.042

ЭЛЕКТРОДЫ ДЛЯ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ ТЕПЛОУСТОЙЧИВЫХ СТАЛЕЙ с 9 % ХРОМА*

Л. С. ЗАХАРОВ, канд. техн. наук, А. Р. ГАВРИК, инж. (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Приведены краткие сведения по разработке покрытых электродов для сварки теплоустойчивых сталей с 9 % хрома. Электроды обеспечивают пониженное содержание диффузионного водорода в наплавленном металле и высокие физико-механические свойства металла шва.

Ключевые слова: дуговая сварка, теплоустойчивые стали, покрытые электроды, шлаковые системы, диффузионный водород, сварные соединения, механические свойства

Разработка новых конструкций энергоблоков повышенной мощности вызвана необходимостью увеличения рабочих параметров паровых котлов. Применение сверхкритических параметров (давление пара до 30 МПа, температура перегретого пара свыше 600 °С) обеспечивает повышение производительности на 10 %, уменьшение расхода топлива, ограничение выбросов в атмосферу вредных газов. В целом это позволяет снизить затраты при производстве электроэнергии на 15... 20 %.

Однако применяемые в настоящее время низколегированные хромомолибденовые стали типа 12ХМ, 15Х1МФ, 12Х2МФБ характеризуются жаропрочностью только до температуры 565 °С.

В последнее время в котлостроении за рубежом все более широко применяются стали с 8... 12 % хрома, дополнительно легированные никелем, молибденом, кобальтом, ванадием, ниобием. В Украине также начаты работы по освоению производства стали типа 10Х9НМФБ для изготовления труб, трубопроводов, кованных изделий и отливок деталей котлов. Повышение жаропрочности в данном случае обеспечивается путем дополнительного легирования стали ниобием (~0,05 %), ванадием и азотом (~0,06 %), сопровождающегося выделением мелкодисперсных упрочняющих карбонитридов ванадия и ниобия.

Разработанные ранее для сварки стали 10Х9НМФБ электроды марки ЦЛ-57 не обеспечивают требуемый уровень прочностных характеристик наплавленного металла — он существенно ниже, чем у стали 10Х9НМФБ (таблица). Сварные соединения, выполненные указанными электродами, требуют длительной термической обработки (760 °С, 10 ч). В связи с этим в ИЭС им. Е. О. Патона проведены исследования по разработке новых электродов.

Кроме традиционных трудностей, имеющих при сварке мартенситных сталей из-за их высокой склонности к образованию холодных трещин, в данном случае возникает еще необходимость обес-

печения прецизионного легирования металла, наплавленного ниобием и азотом. Поскольку в настоящее время существуют проблемы с освоением выпуска новых марок легированных сварочных проволок, при разработке новых электродов для сварки стали 10Х9НМФБ выбрали схему легирования металла шва через покрытие.

Предварительные расчеты показали, что для обеспечения требуемого химического состава наплавленного металла в электродном покрытии должно содержаться около 50 % порошков легирующих элементов и соответственно 50 % газошлакообразующих компонентов.

При сварке мартенситных сталей одним из основных требований является жесткое ограничение содержания диффузионного водорода в наплавленном металле. Для сварки хромистых сталей используют электроды с покрытием двух видов: карбонатно-флюоритным (электроды ЦЛ-32, ЦЛ-41, КТИ-9А и др.) и рутил-карбонатно-флюоритным (ЦЛ-51, ЦЛ-57). И в том, и в другом случае в покрытие вводится 30... 50 % плавикового шпата при содержании мрамора от 13 до 60 %. Для проверки возможности использования общеизвестных шлаковых систем изготовили опытные партии электродов с различным соотношением содержания мрамора, флюорита и рутила в покрытии. При этом их суммарное количество оставалось постоянным и составляло 50 % массы сухой шихты. Проведенные эксперименты показали, что из-за ограниченного содержания шлакообразующих не удалось снизить количество диффузионного водорода в наплавленном металле ниже 2 см³/100 г металла при любых соотношениях шлакообразующих компонентов.

В то же время при сварке электродами марки ОК 76.28 фирмы ESAB и марки FOXС9MV фирмы Boehler предназначенными для сварки стали Р91 (типа 10Х9НМФБ), содержание диффузион-

Сравнение механических свойств стали и металла сварных швов, выполненных электродами ЦЛ-57 и АНЛ-4

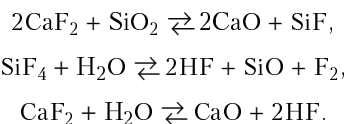
Объект исследования	Временное сопротивление, МПа	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение, %	Ударная вязкость КСV, Дж/см ²
Сталь 10Х9НМФБ	580...640	415...520	14	41
Электроды ЦЛ-57	539	343	18	49
Электроды АНЛ-4	789...814	669...693	12,8...16,0	42,6...53,3

* Данный материал в виде доклада был заслушан на III Международной конференции по сварочным материалам стран СНГ (г. Днепрпетровск, 1-4 июня 2004 г.).

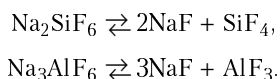


ного водорода не превышает $1 \text{ см}^3/100 \text{ г}$. Таким образом, требовалось принять дополнительные меры для снижения количества диффузионного водорода в наплавленном металле.

Известно, что поглощение водорода жидким металлом снижается, если его связать в нерастворимый в жидком металле фтористый водород следующими реакциями:



Вероятность этих реакций особенно велика в температурном интервале $1500 \dots 2500 \text{ }^\circ\text{C}$. Представляет интерес использование сырьевых компонентов, обеспечивших бы образование газообразных соединений фтора еще на стадии нагрева покрытия. Такими компонентами могут быть кремнефтористый натрий и фторалюминат натрия, диссоциация которых происходит при температуре $800 \dots 900 \text{ }^\circ\text{C}$:



Это помогает не только связать водород, но и уменьшить парциальное давление водяного пара.

Для подтверждения указанного изготовили опытные партии электродов с различным содержанием кремнефтористого натрия и криолита. Испы-

тания показали, что при их содержании в покрытии $25 \dots 30 \%$ количество диффузионного водорода в наплавленном металле снижается до $0,8 \dots 0,9 \text{ см}^3/100 \text{ г}$. За основу выбрали рутил-карбонатно-криолитную систему покрытия, обеспечивающую более высокие сварочно-технологические характеристики электродов. На основании проведенных исследований разработаны электроды марки АНЛ-4.

Для определения служебных характеристик швов указанными электродами сварили стыки из стали 10Х9НМФБ толщиной 20 мм . Сварку выполняли с предварительным и сопутствующим подогревом до температуры $220 \dots 230 \text{ }^\circ\text{C}$. При дефектоскопии стыков и в ходе металлографических исследований холодные трещины и другие дефекты металла шва не обнаружены. Механические свойства металла шва после термической обработки ($720 \text{ }^\circ\text{C}, 2 \text{ ч}$) находятся на уровне основного металла (таблица).

Таким образом, разработанные электроды АНЛ-4 с рутил-карбонатно-криолитным покрытием, обеспечивает пониженное содержание диффузионного водорода в наплавленном металле. Кроме того, отличаются хорошими сварочно-технологическими характеристиками при сварке во всех пространственных положениях и обеспечивают удовлетворительные механические свойства металла шва при сварке теплоустойчивой стали 10Х9НМФБ.

Short information is given on development of coated electrodes for welding heat-resistant steels with 9%Cr. The electrodes provide a lower content of diffusion hydrogen in the deposited metal and high physico-mechanical properties of the weld metal.

Поступила в редакцию 27.12.2004

НОВОСТИ ФИРМЫ «СЭЛМА»

КРОМКОСКАЛЫВАЮЩАЯ МАШИНА

Производитель электросварочного оборудования ОАО Электромашиностроительный завод «Фирма СЭЛМА» (г. Симферополь) освоил производство высокоскоростных кромкоскалывающих машин типа МКС-18 для механической подготовки кромок под сварку листовых материалов, не имеющих аналогов в Украине.

Использование машин МКС-18 позволяет увеличить производительность труда, упрощает технологический процесс сборки и сварки металлоконструкций, а также минимизирует затраты труда при гарантии точного соответствия стандартам получаемой кромки.

Принцип действия. Заготовки небольшого размера подаются вручную. При обработке заготовок или конструкций больших размеров кромкоскалывающую машину закрепляют непосредственно на краю заготовки без применения дополнительных приспособлений. Затем оператору достаточно направить машину по кромке от начала и снять ее в конце обработки. Кромкоскалывающие машины

имеют автоматическую подачу за счет вращательного движения фрезы без дополнительных устройств. Обработка выполняется путем скалывания кромки специальной фрезой.

