



КОНТАКТНАЯ СВАРКА АЛЮМИНИЕВО-СТАЛЬНЫХ ПЕРЕХОДНИКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДЕФОРМИРУЕМЫХ КОМПОЗИТНЫХ ПРОСЛОЕК

В. С. КУЧУК-ЯЦЕНКО, А. В. ЛОЗОВСКАЯ, кандидаты техн. наук,
А. А. НАКОНЕЧНЫЙ, А. Г. САХАЦКИЙ, инженеры (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Разработана новая технология контактной сварки алюминия со сталью применительно к изготовлению биметаллических переходников токоведущих шин большого сечения, используемых в электролизерах при производстве алюминия. Изучен механизм деформации пакета и формирования сварного соединения. Изготовлена экспериментальная установка и блок управления процессом сварки.

Ключевые слова: контактная сварка сопротивлением, токоведущие шины, биметаллические переходники, композитная прослойка, технология

Разработка технологии прессовой сварки алюминия со сталью обусловлена необходимостью применения биметаллических токопроводящих шин большого сечения. Особый интерес представляет контактная сварка пакета алюминиевых пластин со стальной шиной сплошного сечения, что трудно осуществимо другими способами сварки.

Как показал опыт, высокая прочность сварных алюминий-стальных соединений достигается при толщине интерметаллидного слоя не более 6 мкм. Необходимо отметить, что механические свойства сварных соединений в значительной степени зависят от условий формирования интерметаллидных фаз. Они сохраняют удовлетворительный уровень лишь на начальной стадии процесса сварки, когда происходит поперечный рост интерметаллидной фазы. Получить качественное соединение указанных разнородных металлов позволяют лишь те способы сварки, у которых термический цикл не превышает температурно-временных условий образования интерметаллидов. Указанным требованиям в наибольшей мере соответствует сварка давлением. При изготовлении алюминий-стальных переходников получили распространение такие способы соединения, как сварка взрывом, трением, магнитно-импульсная, контактная сварка сопротивлением и оплавлением, а также прокатка. Все эти способы применимы в случае сварки изделий ограниченных типоразмеров, но не пригодны для получения биметаллических соединений больших сечений и сложной конфигурации. Помимо этого, существенные ограничения накладывают высокая стоимость используемого оборудования и сложность его эксплуатации.

Целью настоящей работы является разработка технологии получения алюминий-стальных переходников токоведущих шин большого сечения, в частности катодных узлов электролизеров для производства алюминия. К такому узлу предъявляются следующие требования: сопротивление на разрыв на уровне основного металла — алюминия АД1; стабильно низкое переходное электрическое сопротивление; возможность продолжительной работы при повышенных температурах и ударных механических нагрузках под действием электромагнитных сил.

Обработку контактной сварки осуществляли на образцах размером 120×70×40 мм, состоящих из 20 листов алюминия АД1 толщиной 1 мм и двух пластин из стали 20 толщиной 10 мм, представляющих собой натурные образцы переходников катода электролизера (рис. 1). В промежутки между алюминиевыми и стальными пластинами были вставлены специальные деформируемые композитные прослойки, заполненные неэлектропроводным флюсом. Особенности формирования соединения изучали на стыковых образцах диаметром 25 мм.

С целью защиты зоны сварки от окисления, очистки от оксидов и активации поверхностей соединяемых металлов применяли флюс системы KF-AlF₃. Для проведения экспериментов была осуществлена модернизация сварочного пресса К602, разработаны специализированные блоки управления процессом сварки и оснастка, позволяющая выполнять сварку пакета алюминиевых и стальных пластин с использованием флюса.

Как известно, применение сварки давлением в твердой фазе позволит уменьшить или избежать формирования сплошной интерметаллидной прослойки. Однако такой способ сварки требует высоких сдвиговых деформаций и ограничений массогабаритных показателей сварочных машин и

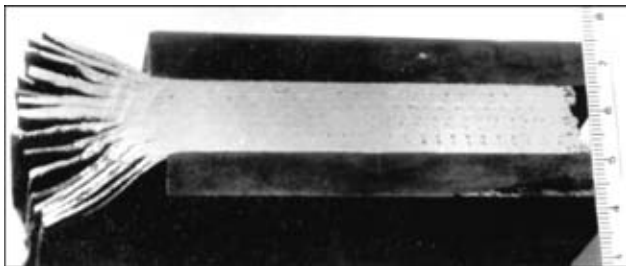


Рис. 1. Натурный образец алюминиево-стального переходника катода электролизера

используется только для сварки изделий небольших сечений [1]. Применение способов сварки, при которых активация поверхности происходит вследствие смачивания жидкой фазой, вызывает неизбежное образование интерметаллидной прослойки из-за существенного тепловложения в зону соединения, что связано со значительными теплоемкостью, тепло- и электропроводностью алюминия. Для изделия типа алюминиево-стального переходника электролизера, в котором сваривается одновременно внахлест пакет алюминиевых пластин между собой и со стальными пластинами с большой площадью поверхности, добиться стопроцентной свариваемости можно только при наличии жидкой фазы в зоне соединения. При этом необходимо ограничить тепловложение и температуру сварки, чтобы избежать превышения латентного периода образования интерметаллидной прослойки.

При разработанном способе сварки происходит активация контактной поверхности смачивания жидкой фазой и пластическая деформация, что дает возможность уменьшить температуру и время сварки, а также пластическую деформацию. Этот способ сварки основан на применении мелкодисперсных активаторов, которые добавляются в сварочный флюс с целью обеспечения образования жидкой эвтектической фазы при температуре ниже температуры плавления алюминия. В качестве активаторов использовали присадку из мелкодисперсных порошков кремния, меди или цинка. Стыковые алюминиево-стальные образцы испытывали на разрыв, а сваренные внахлест — на сдвиг. При этом измеряли переходное электросопротивление сварного шва.

На рис. 2 показаны изменения значений напряжения на дуге U_d , сварочного тока $I_{св}$ и мощности Q , выделяемой за время t сварки в стыковых образцах диаметром 25 мм при усилии осадки 10 МПа.

С целью выявления особенностей формирования сварного шва и влияния различных активаторов на прочность и электрическое сопротивление сварного шва исследовали три партии образцов, полученных на оптимальном режиме сварки с использованием активирующих присадок — кремния, меди и цинка.

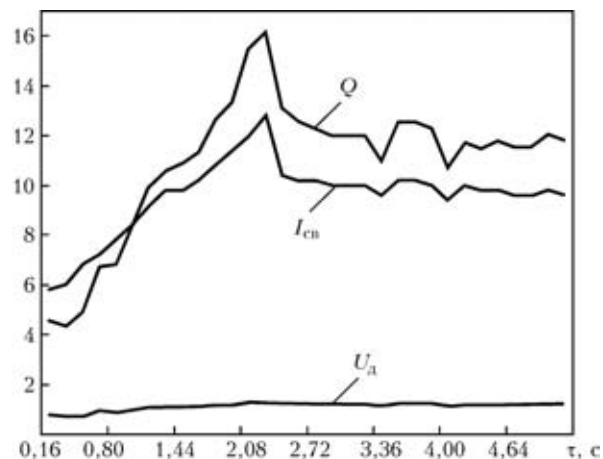


Рис. 2. Диаграмма изменения основных параметров сварочного процесса за время t сварки

Испытание на растяжения показали, что образцы, полученные с использованием флюса с присадкой кремния, разрушаются по околошовной зоне алюминия при временном сопротивлении 55...60 МПа. Временное сопротивление образцов с присадкой меди составляет 48...52 МПа, разрушение происходит по интерметаллидной прослойке со стороны алюминия. Образцы, полученные с присадкой цинка, имеют временное сопротивление 40...43 МПа и разрушаются по шву. Измерение переходного электросопротивления металла шва проводили с помощью микроомметра и ампер-вольтметра: у образцов, полученных с присадкой кремния, оно составляло 1,5, меди — 2, цинка — 3,7 мкОм.

Особенности формирования структуры и характера фазообразования в зоне сварки изучали с использованием методов оптической и аналитической растровой электронной микроскопии. На рис. 3 представлена микроструктура зоны сварного соединения алюминий АД1—сталь 20, полученного с применением флюса, содержащего кремний.

Установлено, что следов промежуточной алюминиевой композитной прослойки, используемой при сварке, не обнаружено. В структуре алюминия у переходной зоны эвтектические выделения по границам зерен отсутствуют, что свидетельствует о полном вытеснении близкоевтектической жидкой фазы из соединения при осадке.

Переходная зона в соединениях алюминий—сталь, полученных сваркой с использованием указанных выше активаторов, отличается различной структурой: при использовании флюса с присадкой кремния она приближается к прямолинейной, меди — волнистая, цинка — волнистая с микропорами. Особенностью микроструктуры, представленной на рис. 3, является то, что образующаяся интерметаллидная прослойка состоит из нескольких слоев, отличающихся травимостью. Толщина прослойки составляет от 3 до 5 мкм; не-

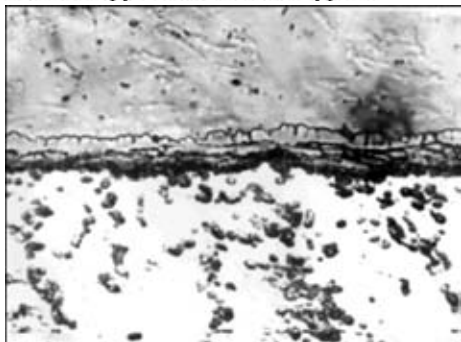


Рис. 3. Микроструктура (X400) сварного соединения алюминий – сталь, полученного при использовании флюса с кремнием

посредственно к алюминию примыкает темный слой, затем более тонкий промежуточный, а со стороны стали — зубчатый. Такой характер структуры переходной интерметаллидной прослойки свидетельствует о том, что в процессе формирования соединения происходят двухсторонние диффузионные процессы — проникновение железа в алюминий и алюминия в сталь. Обычно при сварке в твердой фазе интерметаллидная прослойка не имеет зубчатой структуры, которая характерна при алитировании железа жидким алюминием. Это свидетельствует о том, что на начальном этапе сварки происходит смачивание стали сплавом на основе алюминия. В структуре металла шва при использовании меди и цинка образуется развитая зона контакта, имеющая выступы и впадины, что свидетельствует об активном растворении алюминия в жидкой фазе. Толщина интерметаллидной прослойки при этом предусматривается от 3 до 6 мкм. Поскольку при одинаковом термическом цикле температура образования эвтектики цинк–алюминий составляет 382 °С, медь–алюминий — 548 °С (тогда, как кремний–алюминий 577 °С) [2], то при одинаковой температуре сварки растворение основного металла происходит значительно интенсивнее. Это вызывает формирование волнистой структуры металла шва.

С целью идентификации фазовых составляющих в зоне взаимодействия стали и алюминия с помощью микрорентгеноспектрального анализа исследовали состав переходной зоны соединения. Учитывая то, что толщина интерметаллидной

прослойки не превышает 5 мкм, а отдельных слоев — не более 2 мкм, запись проводили под углом 10° по отношению к границе соединения. Кроме того, определяли структурные составляющие переходной зоны шва путем облучения исследуемого объекта неподвижным зондом. На основании анализа диаграмм распределения элементов можно заключить, что интерметаллидная прослойка, образующаяся в переходной зоне, имеет сложный состав, в ее отдельных слоях можно обнаружить фазы на основе Fe₃Al, FeAl₂, FeAl₃, которые легированы соответственно кремнием, медью и цинком. Согласно литературным данным [3], такое легирование препятствует дальнейшему росту интерметаллидной прослойки, что особенно важно при эксплуатации алюминиево-стального переходника в условиях повышенных температур.

Выводы

1. Предложенная технология контактной сварки сопротивлением позволяет получать качественные алюминиево-стальные соединения сложной конфигурации и развитой площадью поверхности. По сравнению с технологией традиционной контактной сварки новая технология предусматривает более низкую удельную мощность и меньшее усилие осадки, что существенно улучшает массогабаритные показатели контактных машин.

2. Процесс сварки происходит в два этапа: образование жидкой металлической фазы, смачивание ею основного металла и вытеснение расплавленного флюса; схватывание алюминия с алитированным слоем при пластической деформации в твердой фазе.

3. В зоне контакта алюминия со сталью образуется интерметаллидная прослойка толщиной не более 5 мкм, обогащенная активирующими присадками, которые снижают скорость ее роста.

1. Гельман А. С. Основы сварки давлением. — М.: Машиностроение, 1970. — 312 с.
2. Хансен М. Структура бинарных сплавов. — М.: Машгиз, 1941. — 150 с.
3. Рябов В. Р. Сварка алюминия и его сплавов с другими металлами. — Киев: Наук. думка, 1983. — 264 с.

A new technology has been developed for flash-butt welding of aluminium to steel in fabrication of bimetal transition pieces of a large-cross-section current-carrying buses, used in electrolyzers in aluminium production. The mechanism of pack deformation and welded joint formation has been studied. An experimental set-up and welding process control module have been manufactured.

Поступила в редакцию 22.12.2005,
в окончательном варианте 16.01.2006