

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СВАРКИ ВЗРЫВОМ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ АЛЮМИНИЙ-СТАЛЬ

**Босенко К.А.**

**Научный руководитель – профессор Новосельцев Ю.Г.**

*Сибирский федеральный университет*

Биметаллические соединения сталь – алюминий широко используются в алюминиевой промышленности. Токоподводы, применяемые в настоящее время в электролизерах алюминия, состоят из двух частей. Стальная часть токоподвода (катодные стержни, аноды) находится в электролизной ванне, а ток к ванне подводится с помощью алюминиевых анодных штанг и катодных спусков. Соединение стальной и алюминиевой частей токоподводов осуществляют путем стыковой сварки, сварки трением либо сварки взрывом.

Для всех способов сварки стали с алюминием принципиальная физико-металлургическая трудность состоит в образовании на границе сварки интерметаллидов системы Fe-Al, обладающих пониженной прочностью и высоким электрическим сопротивлением. Установлено, что фазовый состав сплавов системы Fe-Al может включать следующие 7 интерметаллических соединений (по мере увеличения содержания железа):  $Fe_2Al_7$ ,  $FeAl_3$ ,  $Fe_2Al_5$ ,  $FeAl_2$ ,  $FeAl$ ,  $Fe_2Al$ .

Для формирования интерметаллидов важны процессы диффузии Al в Fe и Fe в Al. При всех известных способах сварки стали с алюминием (сварка трением, стыковая контактная сварка, сварка взрывом) зона сварного шва нагревается до температур превосходящих температуру плавления алюминия. Это приводит к образованию интерметаллидных прослоек в сварном соединении. Сформировавшаяся прослойка интерметаллида затем может расти в процессе эксплуатации соединений в составе анодного узла электролизера. Сварка взрывом позволяет минимизировать толщины образующейся интерметаллидной прослойки, и поэтому из всех видов сварки является наиболее предпочтительной для изготовления биметалла сталь – алюминий.

Сварка взрывом позволяет получить прочное соединение стали и алюминия. Непременное условие для этого - строгое соблюдение технологических параметров. Так как в технологическом процессе сварки взрывом велика доля ручного труда, при больших объемах производства неизбежно появление некоторого разброса в качестве биметаллического соединения. В этой связи для исключения нештатных ситуаций заводы вынуждены нести дополнительные затраты на контроль состояния контактного узла в ходе монтажа и эксплуатации.

С другой стороны прогресс в технологии производства алюминия предъявляет новые требования к качеству биметаллического соединения. Для снижения электрических потерь стальную часть токоподвода стараются сделать возможно меньшей, так как электросопротивление стали более, чем в 4 раза превосходит электросопротивление алюминия. Кроме того, уменьшение стальной части способствует снижению магнитных полей, отрицательно влияющих на работу электролизера. Следствием этих тенденций является рост рабочих температур в зоне контакта стали и алюминия, что ускоряет образование интерметаллидов и снижает надежность контактного узла.

В настоящее время проблема повышения надежности контактного соединения сталь – алюминий решается за счет усложнения конструкции токоподвода. Отличительная особенность соединения здесь – сочетание сварки взрывом с запрессовкой

взрывом выступов алюминиевой штанги во внутренние (цилиндрические, конические) полости стального штыря. Сталеалюминиевый анодный штырь (см. рис.1) состоит из алюминиевой штанги 1 с выступами 2, вставленными и сваренными в отверстия стального стержня 3.

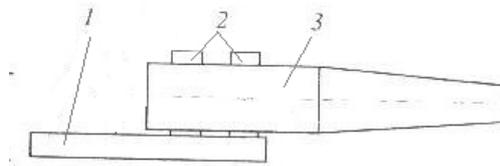


Рис.1. Общий вид сталеалюминиевого анодного штыря.

1 — алюминиевая штанга; 2— выступ алюминиевой штанги; 3— стальной стержень;

Такое техническое решение обеспечивает сохранение целостности контактного узла вне зависимости от качества сварного соединения и изменений в нем в процессе эксплуатации.

В электролизерах с обожженными анодами используют биметаллический сталь – алюминиевый переходник, который затем обычной сваркой присоединяют к алюминиевой и стальной частям токоподвода. Здесь обеспечение надежности анододержателя представляет проблему. Рабочая температура данных переходников не превосходит 300С. Даже при кратковременном повышении температуры до 400 – 450 С на границе алюминий – сталь появляется и растет слой интерметаллидов. Толщины слоя интерметаллидов около 10 мкм достаточно для разрушения соединения. Кроме того, интерметаллиды могут образовываться уже в ходе сварки взрывом, поэтому здесь к качеству сварки предъявляются повышенные требования. В настоящее время так же известно о применении следующих типов биметаллических переходников:

1. Сталь – азотированное железо – алюминий
2. Сталь – хромовый подслои – алюминий
3. Сталь – титановый подслои – алюминий

4. Сталь – алюминий (конструкция «ласточкин хвост»). Отличительная особенность данного переходников заключается в том, что полностью исключена возможность отслаивания алюминиевой и стальной частей переходника в процессе эксплуатации. Данный результат обеспечивается тем, что сварная поверхность здесь содержит участки типа «ласточкин хвост» (см. рис. 2).



Рис.2. Общий вид сварного соединения типа «ласточкин хвост»

При традиционной технологии сварки взрывом граница сварного соединения имеет, как правило, плоский либо волнообразный вид. Участки типа «ласточкин хвост» формируют в ходе сварки взрывом неразъемное соединение алюминиевой пластины и стальной, поверхность которой перфорировалась прямоугольными пазами (см. рис.3). После подрыва электродетонатора 1 по взрывчатому веществу 2 распространяется детона-

ционная волна, причем направление волной совпадает с направлением пазов. Алюминиевая пластина 3 метается на стальное основание 4 и продавливается вглубь пазов 5.

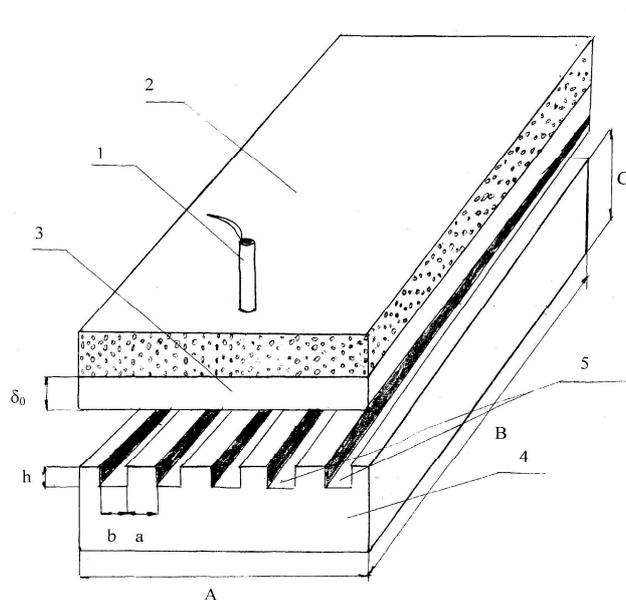


Рис.3. Схема экспериментальной сборки по отработке технологии получения соединения типа «ласточкин хвост»

1 – электродетонатор; 2 – взрывчатое вещество; 3 – метаемая пластина толщиной  $\delta_0$ ; 4 – стальное основание размерами  $A \times B \times C$ ; 5 – пазы глубиной  $h$  шириной  $a$ . Ширина выступов  $b$ .

Основные технические характеристики:

Прочность на разрыв по шву не менее 80 МПа, удельная электрическая проводимость переходника – не менее проводимости стали, максимальная рабочая температура  $450^{\circ}\text{C}$ . В зависимости от режима эксплуатации и вида токоподводящего узла срок службы от 5 до 10 лет.

Таким образом, вне зависимости от степени перегрева переходника при сварке его с алюминиевой и стальной частями токоподвода, условий эксплуатации и качества взрывного соединения гарантируется механическая целостность переходника. Положительный эффект от использования биметаллического сталь – алюминиевого переходника по типу «ласточкин хвост», заключается в продлении срока службы контактного узла и исключении возможности аварийных ситуаций. Дополнительно за счет увеличения площади контактной поверхности алюминий – сталь обеспечивается экономия электроэнергии за счет двух – трех кратного снижения сопротивления переходного слоя.

Данный переходник обладает следующими преимуществами перед аналогами:

1. Исключена возможность нарушения целостности сварного шва во время монтажа, наладки и эксплуатации сварного узла.
2. Переходник может работать при повышенных температурных режимах и механических нагрузках.
3. По истечении времени эксплуатации токоподводящего узла переходник может быть использован повторно.

Итак, сварка взрывом является наиболее предпочтительной для изготовления биметалла сталь – алюминий, так как позволяет решить целый ряд задач (экономия электроэнергии, уменьшение толщины образующейся интерметаллидной прослойки), что сложно получить с помощью других видов сварки.