Анодное устройство

Анод электролизера предназначен для подвода тока в между­полюсное пространство для осуществления процесса элект­ролиза. Анодное устройство состоит из: угольного анода: подъемного механизма, служащего для перемещения анода по мере его сгорания или при выливке металла из ванны; оши­новки: опорной конструкции, которая может монтироваться на катодном кожухе или на специальных стойках, опирающихся на фундамент. Самообжигающиеся и обожженные аноды. По типу анода все электролизеры подразделяются на два больших класса: электролизеры с обожженными анодами (OA) и элект­ролизеры с самообжигаюшимися анодами (СОА). По способу подводу тока к самообжигающимся анодам они подразделяют­ся на аноды с боковым (БТ) и верхним (ВТ) токоподводом. Современные электролизеры с OA оснащены верхним токо­подводом, но на заре развития алюминиевой промышленности использовались электролизеры с непрерывными предваритель­но обожженными блочными анодами, к которым ток под­водился сбоку.

Анодное устройство — самый сложный в конструктивном отношении узел электролизера, и поэтому здесь приведены лишь основные сведения об устройстве и особенностях техно­логии.

Подробнее об анодах можно прочитать в многочислен­ных источниках, посвященных этим вопросам.

Электролизеры небольшой мощности вплоть до начала 30-х годов были оснащены одним или несколькими предварительно обожженными анодами, которые по мере сгорания заменялись новыми.

В начале 30-х годов начался новый этап в развитии конструкций электролизеров, когда, используя патент Содер-берга, были созданы самообжигающиеся аноды, число которых на ванне доходило до трех. Но в настоящее время элект­ролизеры с самообжигаюшимися анодами оснащены одним анодом, сила тока на которых достигает 160 кА. В алю­миниевой промышленности СНГ этот тип электролизеров доминирующий, и на них производится более 60 % всего первичного алюминия.

Первой промышленной конструкцией с самообжигаюши­мися непрерывными анодами были электролизеры, ток к аноду которых подводился сбоку стальными штырями, забитыми в неспеченную его часть. Эта конструкция (БТ), непрерывно совершенствуясь, начала конкурировать с электролизерами с обожженными анодами (OA) и получила широкое распростра­нение благодаря значительно меньшим капитальным и эксплу­атационным затратам. Электролизерами этого типа оснащены все российские алюминиевые заводы, введенные в эксплуа­тацию до конца 50-х годов: Уральский (УАЗ), Новокузнецкий (НКАЗ, цех № I), Богословский (БАЗ), Кандалакшский (КАЗ) и Надвоицкий (НАЗ). В настоящее время электролизе­ры БТ работают на силе тока до 90 кА.

Однако трудозатраты при обслуживании анодов БТ с рос­том силы тока непропорционально возрастали, что привело к созданию новой конструкции анода, ток к которым подводится сверху через вертикальные, периодически переставляемые штыри. Конструкция электролизера с верхним токоподводом (ВТ) в России начала широко применяться с конца 50-х годов и ими оснащены Новокузнецкий (НКАЗ, цех № 2), Волгоградский (ВгАЗ), Иркутский (ИркАЗ), Красноярский (КрАЗ) и Братский (БрАЗ) алюминиевые заводы. В настоящее время на российских заводах такие электролизеры работают на силе тока до 160 кА.

Переход на электролизеры с анодами Содерберга способст­вовал удешевлению производства алюминия, так как были исключены дорогостоящие переделы прессования и обжига анодов. Но вместе с тем появился новый источник выделения вредностей в атмосферу — смолистые вещества из анода.

Параллельно с развитием конструкций электролизеров со­вершенствовалось и производство обожженных анодов, приме­нение которых предпочтительнее из-за отсутствия на них выбросов смолистых веществ и меньшего расхода электро­энергии. Кроме того, одним из основных достоинств элект­ролизеров с OA является возможность увеличения силы тока, что в сочетании с указанными преимуществами делает приме­нение этой системы ванн наиболее перспективной. Сейчас в России электролизеры с OA установлены в двух корпусах КрАЗа и полностью оснащены Волховский (ВАЗ) и Саянский (СаАЗ) алюминиевые заводы, причем на последнем успешно работают электролизеры на силу тока 255 кА и прошли испы­тания ванны на 300 кА. Начата установка таких электролизе­ров на УАЗе и НАЗе.

Рассмотрим конструкцию самообжигающегося анода с бо­ковым токоподводом (рис. 5.9). Такие аноды формуются из анодной массы, которая состоит из различных по размерам частиц электродного кокса (пекового или нефтяного), и в качестве связующего используется каменноугольный пек, явля­ющийся продуктом переработки каменноугольной смолы — побочного продукта в производстве кокса. Состав, техно­логические характеристики анодной массы подробно рассмот­рены во многих источниках. Брикеты анодной массы загружаются в обечайку (на рис. 5.9 не показана), которая изготавливается из алюминиево­го листа толщиной до 1 мм и вставляется внутрь анодного кожуха до подины. Под действием тепла, выделяющегося в процессе электролиза, анодная масса расплавляется и заполня­ет все внутреннее пространство обечайки. Нижняя часть анода за счет высокой температуры превращается в спеченный токопроводящий монолит 1 высотой в центре анода 900— 1300 мм, а его верхняя граница (конус спекания) имеет темпе­ратуру около 600 DC, при которой пек полностью превращается в кокс. Выше конуса спекания расположена зона 2, в которой происходит коксование пека с образованием полукокса, и температура ее верхней поверхности составляет около 400 РС. Над этой зоной расположена жидкая анодная масса 3 (ЖАМ), высота которой достигает 400—600 мм, а температура се повер­хности находится в пределах 90—140 °С.

Ток к самообжигаюшимся анодам подводится с помощью токопроводящих штырей, установленных сбоку (БТ) или свер­ху (ВТ). Самообжигающиеся аноды вне зависимости от типа подвода тока имеют три зоны, но у конструкции анодного кожуха, системы токоподвода и эксплуатации анодов есть свои особенности, которые рассматриваются ниже. Основным недо­статком СОЛ является наличие в них жидкого пека, из которого даже при относительно невысокой температуре (70— 100 °С) выделяются смолистые соединения,содержащие полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), и неко­торые из них (особенно бенз(а)пирен) обладают канцероген­ными свойствами. Это — одна из основных причин на­метившейся тенденции к переходу на обожженные аноды.

Рис. 5.9. Схема самообжигаюшегося анода с боковым токоподводом.

/ - спеченная часть апола; 2 - полусискшаяся масса; 3 — жидкая анодная масса; 4 - анодная рама; 5 — ребра; б — штыри; 7 - сережки или клинья.

Обожженные аноды изготавливаются из того же сырья, что и СОА, но содержат несколько меньше пека.Анодное устройство элект­ролизера с обожженными анодами состоит из расположенных в два ряда отдельных блоков, общее количество которых определяется силой тока. Эти аноды более электропроводны, чем СОА, и при их эксплуатации не выделяются смолистые соединения, поскольку они предварительно удаляются в про­цессе обжига анодов в специальных печах.

Получение алюминия электролизом криолитоглиноземного расплава связано не только с большим расходом электро­энергии, но и со значительным расходом угольных анодов (420—575 кг/т алюминия), что составляет 20—25 % себестои­мости алюминия. Отечественными и зарубежными исследова­телями уделяется большое внимание созданию не расходуемых анодов, большие промышленные эксперименты по соз­данию инертных анодов проводятся за рубежом .

Инертный анод должен удовлетворять следующим основным требованиям: обладать термической стойкостью и не растворять­ся в расплаве О>торидов при температуре до 1000 °С; иметь хорошую электрическую проводимость, быть коррозионно стой­ким и не загрязнять алюминий примесями.

Многие фирмы предлагают изготавливать анод на основе SnOj с добавками различных оксидов: в частности,

фирма "Алюсюисс" предлагает использовать оксиды меди или сурьмы в количестве 0,5—2,0 % для повышения механической прочности и электрической проводимости, в результате чего электросопротивление анода может составить 0,004 Ом см. В одном из институтов Китая на электролизерах с инертными анодами на базе Sn02 с добавками Fe203, CuO, SbO, получен

выход по току около 90 %, а падение напряжения в аноде при плотности тока около 1 А/см3 составило всего 0,25 В. В Технологическом институте алюминиевой промышленности в Норвегии проводились испытания инертных анодов на основе SnO, с добавками 2 % Sb?03 и из смеси порошков феррита никеля и меди, но степень коррозии таких анодов оказалась неудовлетворительной. Поиски в этом направлении продолжа­ются в исследовательских центрах ведущих компаний мира и, учитывая уже полученные результаты, этим анодам принад­лежит будущее.

В настоящее же время в отечественной и зарубежной практике используются электролизеры с анодами БТ, ВТ и OA.

Аноды с верхним токоподводом (ВТ). Электролизеры с анодами ВТ работают на силе тока до 175 кА и являются в России доминирующей конструкцией — на них получают более 60 % всего алюминия. Анодное устройство электролизера ВТ (рис. 5.11) представляет собой угольный анод б, сформирован­ный внутри анодного кожуха 5. В нижней части анодного кожуха расположен газосборный колокол, под которым со­бираются выделяющиеся при электролизе газы. Внутрь анод­ного кожуха — в отличие от анодов БТ — не вставляется обечайка, а анод формуется непосредственно в стальном кожу­хе. Кожух вместе с анодом по мере его сгорания опускается, и во избежание подплавления газосборных колоколов кожух периодически поднимается при помощи вспомогательного ме­ханизма, который смонтирован на той же конструкции, что и анодная ошиновка. При средней скорости сгорания анода 1,5 см в сутки перетяжку анодного кожуха желательно осуще­ствлять не реже одного раза в двое суток. Проведены испы­тания, и на некоторых сериях смонтированы автоматические устройства, позволяющие поднимать анодный кожух ежедневно, что улучшает качество боковой поверхности анода, а также герметизацию корки и снижает выбросы газов в атмосферу.

В анодный кожух 5 загружается анодная масса 4, а подвод тока к аноду осуществляется составными штырями 3 диамет­ром 120-128 мм, расположенными, как правило, в четыре ряда и на двух горизонтах. По мере сгорания анода штыри, нахо­дящиеся на нижнем горизонте, извлекаются из тела анода, а в образовавшиеся подштыревые отверстия затекает жидкая анод­ная масса 8. В результате воздействия высокой температуры (особенно в нижней части анода) коксование жидкой массы идет с большой скоростью, что, с одной стороны, приводит к выделению большого количества летучих соединений, ухудша­ющих атмосферу в корпусе, а с другой — качество образующе­гося вторичного анода 7 намного хуже основного анода — он очень порист, механически не прочен и имеет низкую элек­трическую проводимость. Несмотря на то что суммарная пло­щадь поперечного сечения штырей составляет около 4 % площади анода, площадь вторичного анода значительно превы­шает эту величину (за счет окисления вторичного анода диоксидом углерода), из-за чего качество подошвы анода с ВТ заметно хуже, чем у анодов с ВТ. Именно это обстоятельство приводит к образованию большого количества угольной пены, а расход анода с ВТ примерно на 35—60 кг/т алюминия выше, чем на анодах с БТ.

Анодные штыри в настоящее время выполняют состав­ными — верхняя часть, которая с помошью зажима 2 (см рис. 5.11) контактирует с анодной шиной /, изготавливается из алюминия, а нижняя, которая запекается в теле анода, стальная. Это позволяет снизить потери энергии в штырях и улучшить распределение магнитного поля в аноде вследствие магнитного разрыва, образованного алюминиевыми штангами. Но и до настоящего времени находятся в эксплуатации штыри, полностью выполненные из стали, но имеющие в верхней части приваренный сектор из медной пластины для улучшения контакта межу анодной шиной И штырем. Общее количество штырей зависит от силы тока и обычно составляет 64—72 шт. Общая длина анодных штырей равна 2000—2500 мм, а длина токоведущей части зависит от положения анодной рамы.

Рис. 5.11. Схематическое устройство анода с ВТ. / — анодная ошиновка; 2 - анодные зажимы; 3 — составные штыри; 4 — брикеты анодной массы; 5 - анодный кожух; б – обожженная часть анода; 7 — вторичный анод; 8 — анодная масса.

Анодное устройство с обожженными анодами состоит из двух рядов анодных блоков, ширина и длина которых на современных электролизерах достигают 700 и 1450 мм соответ­ственно. Высота блока обычно не превышает 600 мм. Общее количество блоков зависит от силы тока. В процессе производ­ства в анодном блоке 1 (рис. 5.12) выполняют цилиндрические гнезда, в которые вставляют и заливают чугуном 2 стальные

токоподводящие ниппели 3, соединенные сверху стальным кронштейном 4. К последнему присоединя­ется алюминиевая штанга 5, которая винтовым зажимом прижимается к анодной шине. Таким образом, то ко подводящая штанга одновременно выпол­няет и роль несущей конструкции. Методы крепления штанги к кронштейну различны: сварные, сборные болтовые, клино­вые и т.п.

Количество ниппелей зависит от длины блока и обычно составляет 2—4 шт. Глубина гнезда в блоке имеет большое значение, так как от нее зависят перепад напряжения в этом контакте и высота несгорсвшей части анода (огарок), т.е. расход анодов. Ее глубина тем больше, чем дороже электро­энергия, но обычно составляет около 100 мм.

Ввиду небольшой высоты и высокой температуры (аноды на ваннах с OA утепляют, полностью засыпая их сверху глиноземом) перепад напряжения и окисляемость поверхности в таком аноде меньше, чем на СОА, что является одним из решающих преимуществ электролизеров с OA.

 Рис. 5.12. Анодный блок.

/ — угольный обожженный блок: 2 — гнездо с чугунной заливкой: 3 — токоподводящий ниппель: 4 — кронштейн; 5 — алюминиевая несущая и токоподводящая штанга.

Анодная рама и ее перетяжка. Анодная рама является важнейшим элементом анодного устройства, несушим всю массу анода, которая на современных ваннах достигает почти 100 т. На всех типах электролизеров анодная рама вместе с подъемными механизмами монтируется на опорной конст­рукции, которая, в свою очередь, опирается на катодный кожух, а в двухэтажных корпусах может монтироваться также и на специальных стойках, закрепленных на своих фундамен­тах.

На электролизерах с БТ на раме крепится только анод, а на электролизерах с ВТ и ОЛ на раме монтируется также анодная ошиновка, и поэтому она перемещается вместе с рамой. В некоторых конструкциях анодная ошиновка служит и анодной рамой.

При выливке металла и по мере сгорания анода рама вместе с анодом перемешается вниз до крайнего нижнего положения, а затем должна быть поднята вверх — эта опе­рация на практике носит название перетяжки анодной рамы. При выполнении данной операции анод должен оставаться на месте. Рассмотрим последовательность перетяжки анодной ра­мы на электролизерах разных типов.

Перетяжка рамы на электролизерах с БТ. На элект­ролизерах этого типа подвеска анодной рамы к опорной конструкции, как правило, осуществляется через полиспастный механизм. Масса анода с БТ передается на анодную раму следующим образом (см. рис. 5.9). Штыри б, расположенные на нижнем горизонте, опираются на серьги 7, которые через специальные прорези подвешены к ребрам 5. На некоторых заводах вместо сережек применяют клинья, которые вставляются в прорези ребер. Таким образом, масса анода через серьги (или клинья) передается на анодную раму.

Когда рама опускается до крайнего нижнего положения анод с помощью нескольких (8—10 шт.) временных тяг (типа талрепа) подвешивают к опорной конструкции. Для этого один конец тяги закрепляется за головку штыря, расположенного во втором ряду, а второй — за крюк, закрепленный на опорной конструкции через электроизоляционные прокладки. Затем, поочередно натягивая талрепы, подвешивают анод на времен­ные тяги и извлекают сережки (или клинья). После этого устанавливают серьги под второй ряд штырей, включают ме­ханизм подъема анода и начинают подъем анодной рамы, а анод при этом висит на временных тягах. Когда рама под­нимется настолько, чтобы серьги вплотную подошли ко второ­му ряду штырей, проверяют и при необходимости поправляют серьги или клинья, убеждаются (по натяжке талрепов), что масса анода воспринята анодной рамой и только после этого демонтируют временные тяги.

Перетяжка рамы на электролизерах с ВТ. Подъем рамы из крайнего нижнего положения выполняют с помощью основ­ного механизма подъема анода при одновременной работе вспомогательного механизма. Основной механизм смонтирован на опорных стойках и служит для перемещения анода и подъема анодной рамы, а вспомогательный механизм, располо­женный на анодной раме, — для подъема анодного кожуха и поддержания в неизменном положении анода при подъеме анодной рамы. Скорость перемещения основного и вспомога­тельного механизмов одинакова Подъем анодной рамы дол­жен производиться до перестановки штырей.

При перетяжке анодной рамы анод подвешивают на анод­ном кожухе, причем могут быть использованы два варианта. Временные зажимы (16—18 шт.) устанавливают на анодных штырях над специальными площадками, расположенными на анодном кожухе, и надежно закрепляют их. Если при этом ослабить контактные зажимы, прижимающие токоведущие штыри к анодной шине, анод не просядет, так как будет висеть на временных зажимах. Второй вариант заключается в том, что на анодный кожух устанавливается переносной пор­тал, к верхней части которого с помощью тяг закрепляются штыри. И в этом случае, при ослаблении контакта между анодной шиной и штырями, анод не просядет, поскольку будет висеть на временных тягах.

После подвески анода одним из рассмотренных способов зачитают контактную часть штыря на высоту от существующе­го положения до места нового контакта штыря с анодной ошиновкой, ослабляют все зажимы, прижимающие штыри к анодной ошиновке, и одновременно включают основной и вспомогательный механизмы. Основной механизм перемещает анодную раму вверх, а вспомогательный — анодный кожух вниз. Но, так как вспомогательный механизм расположен на движущейся вверх анодной раме, положение анодного кожуха по отношению к неподвижному катодному устройству будет оставаться неизменным. В процессе перемещения анодной рамы контакт между штырем и анодной шиной будет сколь­зящим и поэтому возможны на некоторых штырях искрения.

После подъема рамы в крайнее верхнее положение надеж­но затягивают контактные зажимы, а затем демонтируют вре­менные зажимы или переносные порталы.