

Научно–исследовательская работа

Технология

**СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ
ЭЛЕКТРОЛИЗОМ АЛЮМИНИЯ**

Выполнила:

Медведева Екатерина Алексеевна

*учащаяся 1 курса группы ИТУ-21-2 экономического факультета,
Санкт-Петербургский Горный университет, Россия, г. Санкт-Петербург*

Руководитель:

Мартиросян Александр Витальевич

*ассистент кафедры системного анализа и управления, канд. тех. наук,
Санкт-Петербургский Горный университет, Россия, г. Санкт-Петербург*

Введение

Алюминиевая промышленность – одна из самых быстро растущих отраслей мирового хозяйства. Стабильно развивающееся производство алюминия объясняется постоянно возрастающей потребностью мировой экономики в этом металле. Предприятия стремятся уменьшить себестоимость алюминия путем разработки более эффективных и выгодных методов получения алюминия. Именно поэтому данная тема работы сохраняет свою актуальность.

Себестоимость алюминия, расход энергии и сырья зависят не менее чем от 100 основных переменных электролиза, свойств сырья, конструкции, и не менее половины этих величин взаимозависимы. Поэтому необходим инструмент, позволяющий рассчитывать и отображать изменения технологических параметров при воздействиях на процесс. Важной составляющей второй части задачи управления является разработка алгоритмов автоматической системы управления технологическим процессом (АСУТП) для стабилизации технологических параметров вблизи назначенных целей.

Целью научно-исследовательской работы является исследование систем автоматизации управления электролизом алюминия.

Необходимо решить следующие задачи для достижения данной цели:

- выявить наиболее проблемные участки технологического процесса;
- описать известные способы решения выявленных проблем;
- разработать предложение по автоматизации этапа технологического процесса.

Основная часть

Алюминий – легкий парамагнитный металл серебристо-белого цвета, легко поддается формовке, литью, механической обработке. Алюминий обладает тепло- и электропроводностью, стойкостью к коррозии за счёт образования прочных оксидных плёнок, защищающих поверхность.

В земной коре содержится 8,8% алюминия. Это третий по распространенности в природе элемент после кислорода и кремния и первый среди металлов. Алюминия не существует в природе в чистом виде, поэтому его получают электролизом криолитоглинозёмных расплавов.

Криолит – это комплексная соль, она составляет 80-90% всей массы электролита. Основным сырьём для электролиза служит окись алюминия – глинозём, занимающий не более 5-8% массы расплава. Кроме того, в криолитоглинозёмный электролит входит до 6-10% различных добавок, они улучшают свойства электролита, снижают температуру плавления и вязкость расплава, увеличивают его электропроводность и поверхностное натяжение на границе металл-электролит. Криолитоглинозёмный расплав очень агрессивен, он взаимодействует со всеми материалами, кроме некоторых углеродистых.

Молекулярное отношение фтористого натрия к фтористому алюминию (криолитовое отношение) – важная характеристика состава электролита. При его изменении уменьшается выход алюминия по току, поэтому важно поддерживать стабильный состав электролита. [8]

$$\frac{NaF}{AlF_3} = 2,6 - 2,8$$

Алюминий – один из самых молодых металлов, открытых человеком. В чистом виде в природе он не встречается, поэтому получить его удалось лишь в XIX веке, благодаря развитию химии и появлению электричества.

В 1800 г. итальянский физик и химик Алессандро Вольта обнаружил возникновение электрического тока между парой разнородных металлических электродов, разделенных электролитом. Мощная батарея была построена в Королевском институте в Лондоне. В 1807 г. английский химик Гемфри Дэви,

используя эту батарею, смог выделить как калий, так и натрий, но металлический алюминий из глинозема ему получить не удалось. Год спустя Дэви объявил, что глинозем является оксидом земли необнаруженного металла, и дал ему название «алюминум» (aluminum).

В 1825 г. датским химиком Хансом Кристианом Эрстедом в процессе восстановления хлорида алюминия амальгамой калия было впервые получено небольшое количество чистого алюминия.

В 1827 г. немецкий химик Фридрих Велер повторил эксперименты Эрстеда и успешно изготовил алюминиевый порошок. И Эрстед, и Велер отделили металлический алюминий от его хлорида. В 1854 г. французский химик А. Девиль сообщил о начале промышленного производства алюминия с использованием натрия как восстановитель. Ученый получил глинозем из бокситовой руды (глинистый минерал, богатый оксидом алюминия) и использовал натрий вместо калия в качестве восстановителя для производства металлического алюминия.

Наконец, в 1886 г. американским инженером Чарльзом Мартином Холлом и французским инженером Полем Эру независимо друг от друга был разработан современный способ производства чистого алюминия, известный как процесс Холла-Эру. Он был основан на электролизе глинозема, растворенного в криолите, и полностью заменил метод Девиля. Данное открытие сделало алюминий доступнее.

Открытия XIX в. стали отправной точкой для дальнейшего развития алюминиевых сплавов: с каждым годом производство алюминия росло, а его стоимость падала.

Очередной переломный момент для алюминиевой промышленности наступает в 1920 г., когда группа ученых под руководством Содерберга изобретает новую технологию производства алюминия. До этого в качестве анодов при электролизе использовались предварительно обожженные угольные блоки — они быстро расходовались, поэтому постоянно требовалась установка новых. Содерберг решил эту проблему с помощью постоянно

возобновляемого электрода. Он формируется в специальной восстановительной камере из коксосмоляной пасты и по мере необходимости добавляется в верхнее отверстие электролизной ванны. Технология Содерберга быстро распространилась по всему миру и привела к увеличению объемов выпуска алюминия. [4]

Уже с 1930-х гг. алюминий стал частью повседневной жизни, с 1940-х гг. его стоимость упала ниже стоимости меди, а в начале 1960-х гг. алюминий стал самым широко используемым цветным металлом в мире. Это произошло благодаря тому, что в середине прошлого века ученые стали уделять внимание не только изобретению новых сплавов, но и способам очищения алюминия от примесей и совершенствованию методов его получения и обработки. [3]

Оксидная пленка AlO_3 обладает хорошим сцеплением с металлом и малопроницаема для всех газов. Благодаря защитному действию пленки алюминий имеет высокую коррозионную стойкость в атмосфере и в среде многих органических кислот. [5]

Практически нет ни одной отрасли машиностроения, в которой бы не использовали алюминиевые сплавы. На сегодняшний день основными областями применения являются: автомобилестроение, авиастроение, аэрокосмическая промышленность, электротехника, упаковочная промышленность, строительство.

В основе электролитического производства алюминия лежит электролиз криолитоглинозёмного расплава. Глинозём, растворяясь в электролите, под действием электрического тока распадается (диссоциирует) на ионы алюминия и кислорода. Ионы алюминия восстанавливаются на катоде с образованием алюминия. Ионы кислорода окисляются на аноде с образованием анодных газов. На угольном аноде происходит разряд кислородсодержащих ионов с образованием окислов анодных газов, при реагировании кислорода с угольным телом анода. Ионы натрия являются переносчиками электрического тока в расплаве электролита.

Наиболее важными свойствами электролита являются:

- точка замерзания;
- растворимость глинозема;
- плотность;
- электропроводность;
- давление паров;
- термодинамическая стабильность относительно глинозема;
- склонность к растворению электродных продуктов;
- смачиваемость анодов.

Функцией электролита является физическое разделение полученного на катоде жидкого алюминия и выделяющихся на аноде оксидов углерода, а также обеспечение электролитического разложения глинозема.

Процесс электролиза непрерывный, поэтому периодически в электролит загружают глинозём, фторсодержащие соли, а в анод – анодную массу. Для поддержания уровня и состава электролита загружают смешанный криолит, оборотный электролит, фтористый алюминий, кальцинированную соду.

Рассмотрим, как работает агрегат для получения алюминия – электролизёр (рисунок 1).

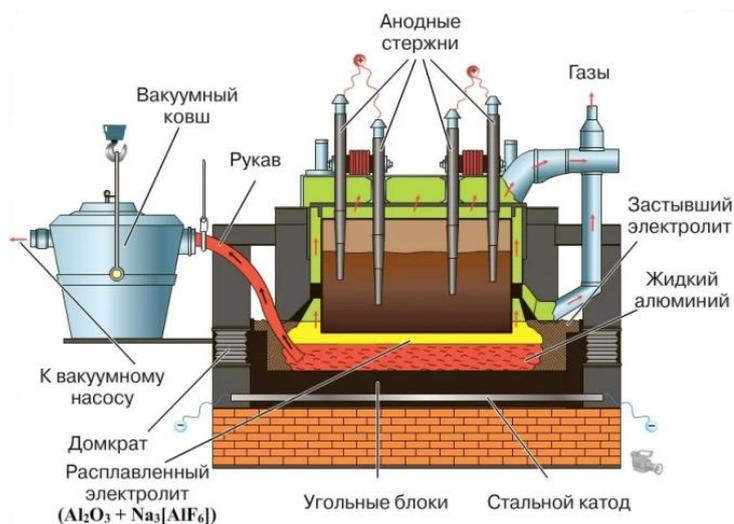


Рисунок 1. Электролизёр

Процесс, протекающий в электролизере, состоит в электролитическом разложении глинозема, растворенного в электролите. Электролитическое восстановление окиси алюминия, растворенной в расплаве на основе

криолита, осуществляется при 950-970°С в электролизёре. Электролизёр состоит из футерованной углеродистыми блоками ванны, к подине которой подводится электрический ток. Выделившийся на подине, служащей катодом, жидкий алюминий тяжелее расплава соли электролита, поэтому собирается на угольном основании, откуда его периодически откачивают с помощью вакуум-ковша и направляется в литейное отделение на разливку или миксер, где в зависимости от дальнейшего назначения металла готовятся сплавы с кремнием, магнием, марганцем, медью или проводится рафинирование. Сверху в электролит погружены угольные аноды, которые сгорают в атмосфере выделяющегося из окиси алюминия кислорода, выделяя окись или двуокись углерода.

Сила тока на электролизерах составляет 150 000 А. Они включаются в сеть последовательно, т.е. получается система – длинный ряд электролизеров. Рабочее напряжение на ванне, составляющее 4-5 В, значительно выше напряжения, при котором происходит разложение окиси алюминия, поскольку в процессе работы неизбежны потери напряжения в различных частях системы. Для преобразования переменного тока в постоянный на современных заводах применяются полупроводниковые выпрямители с напряжением 850В и коэффициентом преобразования 98,5%, установленные в кремниевой преобразовательной подстанции.

Электролизеры обычно снабжены укрытиями, отводящими отходящие газы, и системой очистки. Это снижает выделение вредных веществ в атмосферу. В удаляемых газах от электролизеров преобладают диоксид углерода, азот, кислород, газообразные и твердые фториды и частицы глиноземной пыли. Для их удаления и возвращения в процесс применяются различные технологические схемы. [2]

Алюминий не может существовать в свободном состоянии и встречается только в виде различных по своему составу соединений. Основная их масса приходится на оксид алюминия – глинозем, глина. Глина примерно на треть состоит из оксида алюминия и является сырьем для его производства. Вся

трудность состоит в том, чтобы восстановить алюминий (отнять у него кислород). Химическим путем добиться этого чрезвычайно сложно, так как связь двух элементов здесь очень прочная.

Современные промышленные ванны сохранили основные конструктивные черты первых электролизеров. За период развития электролитического способа производства алюминия были увеличены лишь размеры ванн и усовершенствованы те или иные их детали. Они состоят из металлического кожуха, футерованного изнутри огнеупорным и углеродистым материалами, проводящей ток угольной подины, которая служит катодом, и угольных анодов, погруженных в расплавленный электролит. Промышленные алюминиевые ванны питаются постоянным электрическим током. Любой электролизер состоит из катодного устройства, анодной системы, катодной и анодной ошиновки и опорных металлоконструкций. Алюминиевые электролизеры различаются по мощности и по конструкции анодного устройства. По конструкции анодного устройства современные электролизеры делят на три типа:

1. С самообжигающимся анодом и боковым токоподводом.
2. С самообжигающимся анодом и верхним токоподводом.
3. С обожженными анодами.

Основным высокопроизводительным агрегатом для промышленного производства алюминия в настоящее время являются электролизеры с обожженными анодами (Рисунок 2) из-за отсутствия на них выбросов смолистых веществ и меньшего расхода электроэнергии. Кроме того, одним из основных достоинств электролизеров с обожженными анодами является возможность увеличения силы тока, то есть производительности.

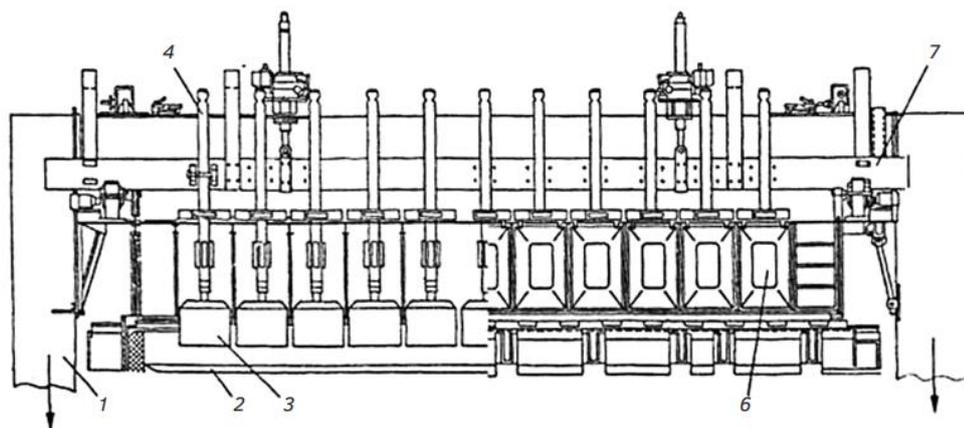


Рисунок 2. Электролизер с обожженными анодами

1 - анодная шина; 2 - катодное устройство; 3 - ОА; 4 - анодные штанги; 5 - анодная рама; 6 - створки укрытия

Основными технологическими операциями при обслуживании электролизеров являются разрушение корки и загрузка электролизера глиноземом, извлечение огарков анодов и установка новых анодов, перетяжка анодной рамы. Создан и эксплуатируется ряд самоходных машин для пробивки корки электролита на колесном и, иногда, на гусеничном ходу.

За процессом электролиза алюминия следит система автоматизации процесса электролиза ТРОЛЛЬ.

Система автоматизации процесса электролиза алюминия представляет собой комплекс программно-технических средств. Названия ТРОЛЛЬ-5 и ТРОЛЛЬ-2000 относятся соответственно к оборудованию и программному обеспечению последнего поколения АСУ ТП электролиза алюминия.

ТРОЛЛЬ-5 – блоки управления электролизерами АСУ ТП электролиза.

ТРОЛЛЬ-2000 – программное обеспечение АСУ ТП электролиза.

Разделение названий оборудования и программного обеспечения вызвано тем, что программное обеспечение ТРОЛЛЬ-2000 способно работать на всем спектре оборудования. Более того, ПО ТРОЛЛЬ-2000 построено таким образом, что к его верхнему уровню можно подключить любое оборудование распределенных централизованных систем автоматизации других производителей.

Новое программное обеспечение ТРОЛЛЬ-2000 может быть установлено на любой из систем, вне зависимости от оборудования и объема внедрения.

Основу аппаратного обеспечения системы составляют блоки управления ТРОЛЛЬ-5, установленные в корпусе электролиза. Группа БУ соединена между собой по коаксиальному кабелю. Группы подключены по схеме «звезда» к концентратору сети корпуса (КСК), представляющего собой оптоволоконный хаб сети ArcNet. К концентратору подключается также и Контроллер тока и напряжения серии (КТНС), установленный на КПП, который производит замер и раздачу по блокам управления значения тока серии.

Концентраторы сети корпусов подключены по оптоволоконному кабелю к маршрутизатору системы ТРОЛЛЬ. Маршрутизатор устанавливается в помещении пультовой АСУ ТП. Там же установлены серверы системы: сервер реального времени (СРВ) и сервер базы данных (СБД). С одной стороны, серверы получают информацию от маршрутизатора системы. С другой стороны, серверы открывают доступ к данным из заводской сети. Любой компьютер, подключенный к сети предприятия, может иметь доступ как к данным в реальном времени (через СРВ), так и к накопленным данным, сводкам, отчетам (через СБД).

К блоку управления ТРОЛЛЬ-5 по сети RS-485 подключаются различные датчики (возможно подключение исполнительных устройств). В основном это два типа оборудования:

1. Датчики, постоянно установленные на электролизерах. Например, датчик перекоса позволяет оперативно измерять угол перекоса анодной рамы, и соответственно автоматически выравнивать раму;

2. Датчики и исполнительные устройства системы централизованной раздачи глинозема. Система ЦРГ требует всего одного-двух датчиков на электролизер. Существенно дешевле и надежнее использовать имеющуюся инфраструктуру ТРОЛЛЬ, чем создавать отдельное АСУ ТП для ЦРГ;

3. Переносные портативные приборы для разовых замеров. К таким приборам относятся разрабатываемые датчики температуры расплава и ликвидуса, а также датчик концентрации. При такой работе, прибор подключается к блоку управления ТРОЛЛЬ-5, в течении нескольких секунд БУ опознает прибор и по мере (и по окончании) работы получает данные из прибора, хранит и передает далее на верхний уровень.

Для оборудования, которое работает на уровне группы ванн, корпуса или серии в целом, оборудование может быть подключено к технологической сети корпуса. К такому оборудованию относятся, например, бригадный контроллер и шкафы работы с радиоприемниками крановых весов.

Верхний уровень системы ТРОЛЛЬ-2000 построен так, что позволяет подключать к нему любую полностью или частично распределенную систему автоматического управления любыми технологическими процессами. В качестве расширения возможностей АСУ ТП электролиза нужно сразу к верхнему уровню системы подключить, например, центральную заводскую лабораторию (ЦЗЛ). Информация с ЦЗЛ органически дополняет информацию алюминиевого производства о ходе технологического процесса. [7]

Не все основные технологические параметры контролируются постоянно, и это является главной проблемой управляемости процесса электролиза алюминия. Такие показатели, как концентрация глинозема в МПР, температура, криолитовое отношение, уровень металла и электролита регистрируются периодически (1 раз в 1–3 суток) путем ручных измерений. Таким образом, из-за большой инертности процесса контроля некоторых параметров алюминиевый электролизер находится в технологически разбалансированном состоянии.

Проблема возникновения анодного эффекта

Анодный эффект – характерное явление, при котором нормально протекающий процесс электролиза внезапно прерывается, напряжение на единичной ванне резко возрастает, а ток уменьшается. Газы, легко удалявшиеся до этого от анода в виде пузырьков, теперь, при анодном

эффекте, обволакивают анод газовой пленкой и оттесняют электролит от поверхности анода. [1]

Увеличение числа АЭ на электролизере связано с проблемами поступления и эффективного растворения глинозема в электролите: отсутствием пробивки корки; низким уровнем электролита в ванне; механическими неисправностями пробойников; недостатком дозы глинозема; слабым давлением сжатого воздуха; изменением качества глинозема; различными условиями растворения шихты в рабочем пространстве ванны.

Для решения данной проблемы предлагается разработать систему прогнозирования АЭ – непрерывный мониторинг электролизера с целью своевременного дозирования глинозема в случае его минимальной концентрации в расплаве (1,5%).

Проблема автоматической подачи глинозема

Возникают трудности при обслуживании систем автоматической подачи глинозема (АПГ) при превышении («горячий ход») или занижении («холодный ход») заданного интервала перегрева:

- снижается температура электролита на 10–25°C при установке нового анода;
- изменяется химический состав электролита из-за испарения AlF_3 (в результате увеличения криолитового отношения);
- при изменении теплового баланса увеличивается или уменьшается твердость криолит-глиноземной корки;
- возникает осадок на подине из-за низкого уровня электролита. [1]

Чтобы улучшить работу системы АПГ, необходимо управлять ею в режиме реального времени с применением многоуровневого управления, при помощи которого можно распознавать сигналы и эффективно регулировать дозы глинозема, даже при наложении АЭ. Предлагается внедрить систему, которая учитывает технологическое состояние электролизера в реальном времени (температура, уровень электролита, криолитовое отношение), а затем дает команду на пробивку корки с определенной частотой и количеством

глинозема для загрузки. Программа выстраивает алгоритм управления при любых волнениях в расплаве и изменениях технологии. Система должна работать особенно быстро в период нарастания сигнала о возможном АЭ.

Проблемы, возникающие при работе с низким криолитовым отношением

Переход на работу с электролитами с низким криолитовым отношением ($KO = 2,2-2,5$) связан с несколькими факторами. В первую очередь, с изменением плотности электролита, способствующей лучшему разделению слоя металла и электролита. Другой важный фактор – с увеличением вязкости электролита затрудняется появление металлического тумана, тем самым улучшается транспортировка глинозема в электролит. Самым главным достоинством работы на кислых электролитах является снижение температуры ликвидуса, что позволяет при низкой температуре электролита ($948-955\text{ }^{\circ}\text{C}$) увеличить токовую нагрузку на серии на 7-10%. Электролизеры на силу тока 175 кА при работе на оптимальном составе кислых электролитов могут эксплуатироваться на силу тока 180 кА. [6]

С переходом на технологию работы с низким криолитовым отношением возникает необходимость корректировки состава электролита добавкой фторида алюминия до заданных пределов КО. Для этого необходима организация постоянного мониторинга КО с расчетной подачей AlF_3 через специальные силосы и бункеры электролизера. Корректировка криолитового отношения может производиться по алгоритму, учитывающему расход фторида алюминия в глиноземе газоочисток, потери с открытой поверхности электролита при обслуживании электролизной ванны.

Заключение

В рамках этой работы был проведен анализ технологического процесса производства алюминия путем электролиза и предложен ряд технологических решений для автоматизации данного процесса с целью повышения экономической эффективности производства:

- внедрение системы прогнозирования анодного эффекта;
- усовершенствование автоматизированной подачи глинозёма внедрением системы, которая учитывает технологическое состояние электролизера в реальном времени, а затем дает команду на пробивку корки с определенной частотой и количеством глинозема для загрузки;
- внедрение системы мониторинга криолитового отношения с целью его корректировки.

Главными задачами АСУ ТП электролиза алюминия являются:

- повышение экономической эффективности организации;
- уменьшение расхода ресурсов производства;
- повышение качества продукции за счёт более точного регулирования всех параметров;
- повышение производительности АСУ ТП, сокращение персонала;
- улучшение организации хранения и обработки информации для повышения согласованности плановых экономических решений.

Список литературы:

1. Бажин, В. Ю. Управление анодным эффектом на алюминиевом электролизёре / А. А. Власов, А. В. Лупенков. – М.: Журнал «Металлург», 2011. – 89-93с.
2. Пискажова, Т. В. Методы эффективного управления технологическим процессом электролитического получения алюминия. – Красноярск: Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технология, 2010. – 159-170с.
3. Романов, М. Л. Производство алюминия / О. С. Ежова. – М.: Научно-исследовательский институт "Центр экологической промышленной политики", 2019. – 346-381с.
4. Рыжков, К.В. 100 великих изобретений. – М.: Вече, 1999. – 528с.
5. Солнцев, Ю. П. Материаловедение: Учебник для вузов / Е. И. Пряхин. – Изд 4-е, перераб. и доп. – СПб.: ХИМИЗДАТ, 2007. 784с.
6. Шарипов, Д. Д. Эффективность использования кислых электролитов в мощных электролизёрах / В. Ю. Бажин. – СПб.: Записки Горного института, 2012. – 155-158с.
7. Рассмотрение технологического процесса с точки зрения автоматизации [Электронный ресурс] URL: https://studbooks.net/2574391/tovarovedenie/rassmotrenie_tehnologicheskogo_protsessa_tochki_zreniya_avtomatizatsii (дата обращения 27.11.2021).
8. Электролитическое производство алюминия – Канал «Отечественная Документалистика», 2017. [Электронный ресурс] URL: <https://www.youtube.com/watch?v=9wZ02FIf48I> (дата обращения 31.10.2021).