

УДК 669.713.7

Пуск электролизера с обожжёнными анодами после капитального ремонта

© А.В. Данекин¹, Н.В. Немчинова²¹ Сибирский федеральный университет,
г. Красноярск, Российская Федерация² Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск, Российская Федерация

Аннотация. Алюминиевая промышленность является одной из развивающихся отраслей металлургического сектора нашей страны. Компания «РУСАЛ» вводит в эксплуатацию новые предприятия по получению первичного алюминия, оснащённые ваннами с предварительно обожжёнными анодами. Срок службы электролизера определяется многими факторами: выбором конструкции катодного устройства, технологией ведения процесса электролиза, видами применяемых футеровочных материалов, обжигом и пуском ванны после капитального ремонта. Особое внимание уделяется обжигу и пуску, так как срок службы электролизера во многом зависит от пускового периода, который должен проводиться в короткий промежуток времени. В работе проанализирована конструкция катодного устройства электролизера, общие требования к состоянию электролизера перед пуском. В результате исследований показано, что с целью обеспечения безопасности персонала, занимающегося подключением электролизера типа РА-300В в серию, необходимо использовать плавкие вставки. Была разработана методика установки плавких вставок. При пуске ванны без отключения токовой нагрузки с применением плавких вставок электролизер включается в процесс электролиза без нарушений технологии.

Ключевые слова: электролитическое получение алюминия, электролизер с обожжёнными анодами, катодное устройство, срок службы, пуск электролизера

Start-up of an electrolyzer with baked anodes after major overhaul

© Alexey V. Danekin¹, Nina V. Nemchinova²¹ Siberian Federal University,
Krasnoyarsk, Russian Federation² Irkutsk National Research Technical University,
Irkutsk, Russian Federation

Abstract. The aluminum industry is one of the developing branches of the metallurgical sector in our country. RUSAL is putting into operation new plants for the production of primary aluminum, equipped with baths with pre-baked anodes. The service life of the electrolyzer is determined by many factors: the choice of the design of the cathode device, the technology of conducting the electrolysis process, the types of lining materials used, and firing and starting the bath after major repairs. Particular attention is paid to firing and start-up, since the life of the electrolyzer is largely dependent on the start-up period, which must be carried out in a short period of time. The work analyzes the design of the cathode device of the electrolyzer, the general requirements for the state of the electrolyzer before starting. As a result of the research, it has been shown that in order to ensure the safety of personnel involved in connecting a RA-300B type electrolyzer into a series, it is necessary to use fusible links. A method for installing fuse-links has been developed. When starting the bath without disconnecting the current load with the use of fusible links, the electrolyzer is included in the electrolysis process without disrupting the technology.

Keywords: electrolytic production of aluminum, electrolyzer with baked anodes, cathode device, service life, start-up of the electrolyzer

Введение

Благодаря своим уникальным свойствам (малой плотности, высокой электропроводности и значительной коррозионностойкости) алюминий нашёл применение во многих отраслях промышленности. По количеству выпускаемой продукции алюминиевая промышленность занимает лидирующие позиции

среди других цветных металлов, уступает лишь стали и чугуну [1].

В России единственным и крупнейшим производителем первичного алюминия и изделий из него является объединённая компания «РУСАЛ». Деятельность предприятий компании направлена на получение глинозема, первичного алюминия, сплавов на его

основе, алюминиевых порошков и пудр, кремния металлургических марок. Компания также имеет в своей структуре заводы по добыче и переработке бокситов, а также целый ряд предприятий по созданию готовой продукции на основе алюминия.

Алюминиевая промышленность нашей страны неуклонно развивается. Деятельность предприятий и исследовательских организаций, а также различных научно-образовательных и исследовательских организаций направлена на решение вопросов по поиску альтернативного сырья для производства глинозема [2–5], по улучшению технологических и экологических показателей [6–10].

Электролитическое получение алюминия путём выделения на катоде из криолит-глиноземного расплава является в настоящее время единственным промышленным способом получения алюминия¹ [1]. Вновь строящиеся предприятия по получению первичного алюминия оснащаются электролизерами с обожжёнными анодами (ОА), которые являются экономически эффективными и экологически менее вредными². На электролизерах данного вида при анодной плотности тока 0,85–0,88 А/см² можно достичь выхода по току 93–96 % и удельного расхода электроэнергии ~13,3 кВт·ч/т Al, расход ОА при этом составляет в среднем (брутто) 515 кг. В последние годы запущен в производство Богучанский алюминиевый завод (ЗАО «БоАЗ», п. Таёжный Богучанского района), в 2019 г. прошла официальная церемония запуска первой серии данного завода. Строительство Тайшетского алюминиевого завода (АО «ТаАЗ») идёт ускоренными темпами в г. Тайшете Иркутской области.

Конструктивные особенности электролизеров с предварительно обожжёнными анодами

На ваннах с ОА возможно повышение мощности (на силу тока от 160 до 400 кА и более) путём увеличения числа анодов и расширения геометрических размеров ванн (рис. 1).

Электролизеры с ОА являются наиболее современным типом электролизеров, хотя именно с такого типа ванн небольших размеров началась история развития алюминиевой промышленности в связи со строительством Волховского алюминиевого завода. Если первые электролизеры с обожжёнными анодами имели силу тока 3 кА, то на сегодняшний день существуют мощные электролизеры с силой тока до 500 кА, и уже ведутся исследования по разработке более мощных электролизеров [11].

На ваннах с ОА проще установить и предусмотреть средства для механизации и автоматизации технологических операций, очистка анодных газов производится с большей эффективностью (сухая система газоочистки работает с КПД свыше 99 %), в отходящих газах отсутствуют выделяющиеся вредные смолистые вещества, содержащиеся в анодной массе ванн с анодом Содерберга, и углеводороды. На этом типе ванн больше возможностей получить алюминий высших сортов, в том числе марки А8.

Капитальный ремонт электролизера

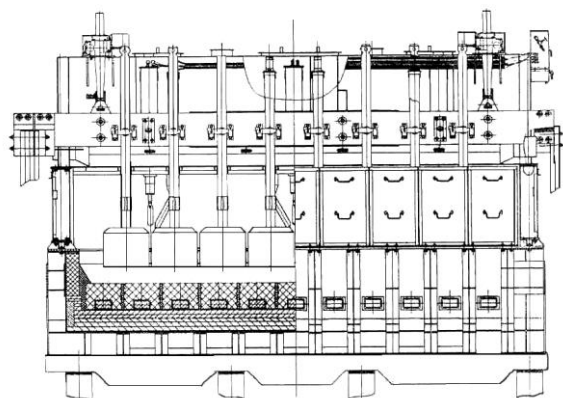
Каждый электролизер работает непрерывно в течение определённого времени, называемого «сроком службы электролизера». Этот показатель зависит от многих факторов: конструкции катодного устройства (подины), технологии ведения процесса электролиза, видов используемых футеровочных материалов, обжига и пуска ванны после капитального ремонта. Особое внимание уделяется обжигу и пуску, так как срок службы электролизера во многом зависит от пускового периода, проводимого в ограниченный промежуток.

При капитальном ремонте производится монтаж катодного устройства с укладкой новой футеровки. Далее осуществляют обжиг подины и пуск для ввода ванны в работу всей серии электролиза.

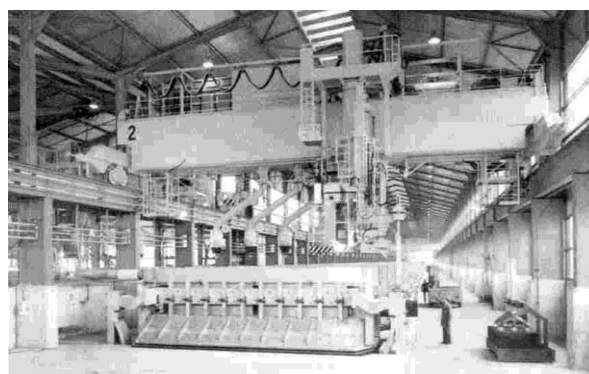
Катодное устройство состоит из металлического кожуха, узла фланцевого и футеровки, состоящей из угольных подовых блоков и огнеупорных материалов. Однако конструктивное выполнение этих узлов может различаться весьма существенно. Основные параметры катодного устройства приведены в таблице.

¹ Гринберг И.С., Зельберг Б.И., Чалых В.И., Черных А.Е. Электрометаллургия алюминия: учеб. пос. Иркутск: Изд-во ИргТУ, 2009. 350 с.

² Янко Э.А. Производство алюминия: пособие для мастеров и рабочих цехов электролиза алюминиевых заводов. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2007. 303 с.



а



б

Рис. 1. Электролизер с предварительно обожжёнными анодами для получения первичного алюминия: а – продольный разрез электролизера; б – корпус электролиза с поперечным расположением электролизеров на силу тока 180 кА (VAW, Германия)

Параметры катодного устройства

Параметр	Значение
Габаритные размеры катодного устройства, мм	15690×4730×1865
Размеры шахты, мм	14350×3760×585
Размеры бортового блока, мм	650×350×70
Размер подового блока, мм	3100×550×400
Количество подовых секций, шт.	24
Материал катодного блока	графит
Количество катодных стержней, шт.	48
Сечение катодного стержня (ширина x высота), мм	230x115
Масса катодного устройства, т, в том числе:	142,1
- кожух металлический	43,4
- футеровка	96,6
- узел фланцевый	2,1

Футеровка состоит из цоколя, подины и бортовой футеровки. Цоколь содержит теплоизоляционные и огнеупорные слои. Теплоизоляция выполнена из вермикулитовых плит, уложенных в два ряда на подсыпку из шамотного заполнителя. Огнеупорные слои сделаны из шамотного кирпича и защищены слоем сухой барьерной смеси. Подина выполнена из катодных секций с монолитным блоком и составными катодными стержнями, закреплёнными в блоке посредством чугуна. Межблочные и периферийные швы заполнены межблочной массой. При набойке катодов электролизеров БоАЗа использовалась холодно-набивная подовая масса «Т» ELKEM Carbon (Китай), которая положительно зарекомендовала себя при пуске и эксплуатации Хакасского и Иркутского алюминиевых заводов. Набойки швов подины производились двумя установками французской компании BROSHOT.

Углеродная футеровка служит ванной для расплавленного металла и электролита и, с другой стороны, является проводником тока. Катодные теплоизоляционные материалы должны обладать однородностью состава, высокой механической прочностью, низкой теплопроводностью, химической стойкостью к воздействию компонентов расплава и др. В подине в качестве огнеупорных материалов применяют шамотный кирпич с высоким содержанием глинозема. Для формирования огнеупорной и теплоизоляционной частей футеровки в алюминиевой отрасли широко применяются кирпичи на основе диатомита и вермикулита [12].

Методика установки плавких вставок для ввода электролизера в серию

В общем представлении непосредственно под «пуском» понимается заливка расплавленного электролита в ванну и подключение электролизера к току серии, после че-

го собственно начинается процесс электролиза.

Общие требования к состоянию электролизера перед пуском:

- наиболее плавный переход от температуры подины электролизера, близкой к температуре окружающей среды, к состоянию подины, близкой к эксплуатационным температурам электролизера, с уменьшением образования зон температурных градиентов;

- минимизация зон возможных «термических» шоков, которые могут образоваться в результате заливки электролита или при демонтаже технологического оборудования; особенно важно сохранить на данном этапе целостность укрытия;

- за счёт оптимального прогрева всей футеровки катодного устройства и наиболее равномерного прогрева всей площади, подвергнутой обжигу, необходимо добиться минимизации создания зон термического давления на подину катода как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях;

- плавный и постепенный обжиг подовой массы с целью достижения максимальной

монолитности и однородности угольной части подины и обеспечения герметизации межблочных и периферийных швов;

- просушка и удаление жидкостей, привнесённых в катодное устройство в момент монтажа футеровки и содержащихся в самих футеровочных материалах.

После проведения обжига и заливки электролита необходимо подключить конкретный электролизер в серию, что является одним из самых ответственных моментов при пуске ванны.

Согласно ГОСТ Р МЭК 60269-1-2010, «плавкий предохранитель (плавкая вставка) – это устройство, которое за счёт расплавления одного или нескольких своих элементов, имеющих определённую конструкцию и размеры, размыкает цепь, в которую оно включено, отключает ток, превышающий заданное значение в течение определённого времени».

Назначением плавкой вставки является устранение отключения серии от токовой нагрузки при электрическом подключении электролизера.



а



б

Рис. 2. Плавкие вставки: а – S-образная, б – П-образная

С целью обеспечения безопасности технологического персонала, занимающегося подключением вводимого после капитального ремонта электролизера в серию, на Богучанском алюминиевом заводе разработана методика установки плавких вставок. Данная методика включает в себя следующие основные операции:

- 1) перед пуском электролизера выполнение монтажа четырёх пакетов алюминиевых пластин: плавкие вставки – 2 штуки S-образные и 2 штуки П-образные (рис. 2);

- 2) выполнение измерения разности потенциалов до начала пуска между катодной шиной и пакетом пластин плавких вставок

(высокие перепады устраняются простукиванием и протяжкой), распределение тока;

- 3) установка посередине каждой плавкой вставки (между 5 и 6 пластиной) контрольных термопар;

- 4) установка тока серии в соответствии с целевым значением;

- 5) разборка узлов шунтирования согласно разработанной схеме;

- 6) поднятие силы тока до базового значения после разборки всех узлов шунтирования;

- 7) фиксирование значения температуры всех плавких вставок с интервалом в 30 с;

- 8) учёт времени до срабатывания всех четырёх плавких вставок;

9) проведение визуального осмотра сработавших плавких вставок после пуска.

Заключение

Электролизеры с обожжёнными анодами являются наиболее современными металлургическими агрегатами для получения первичного алюминия. Срок службы ванн зависит от многих факторов. В том числе от правильного ведения обжига и пуска электролизера после капитального ремонта.

При пуске электролизера без отключения технологической нагрузки тока необходимо

использовать плавкие вставки, так как почти мгновенное отключение огромной мощности серии электролиза может вызвать различного рода нештатные ситуации, приводящие к ухудшению технико-экономических показателей процесса электролиза.

С целью обеспечения безопасности технологического персонала, занимающегося подключением вводимого после капитального ремонта электролизера в серию, на Богучанском алюминиевом заводе разработана методика установки плавких вставок.

Библиографический список

1. Grjotheim K., Welch B.J. Aluminium Smelter Technology. Dusseldorf: Aluminium-Verlag, 1988. 327 p.

2. Dubovikov O.A., Brichkin V.N., Ris A.D., Sundurov A.V. Thermochemical activation of hydrated aluminosilicates and its importance for alumina production // Non-ferrous Metals. 2018. № 2. P. 11–16. <https://doi.org/10.17580/nfm.2018.02.02>

3. Шепелев И.И., Головных Н.В., Сахачев А.Ю., Жижаяев А.М., Котлягин А.Г. Улучшение качества спека известняково-нефелиновой шихты путем ввода в нее гипсоангидритового техногенного сырья // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2018. Т. 22. № 5 (136). С. 225–239. <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2018-5-225-239>

4. Бурдонов А.Е., Зелинская Е.В., Гавриленко Л.В., Гавриленко А.А. Изучение вещественного состава глиноземсодержащего материала алюминиевых электролизеров для использования в технологии первичного алюминия // Цветные металлы. 2018. № 3. С. 32–38. <https://doi.org/10.17580/tsm.2018.03.05>

5. Бричкин В.Н., Куртенков Р.В., Элдиб А.Б., Бормотов И.С. Состояние и пути развития сырьевой базы алюминия небокситных регионов // Обогащение руд. 2019. № 4. С. 31–37. <https://doi.org/10.17580/or.2019.04.06>

6. Mann V., Buzunov V., Pitertsev N., Chesnyak V., Polyakov P. Reduction in Power Consumption at UC RUSAL's Smelters 2012–2014 // Light Metals. 2015. P. 757–762. <https://doi.org/10.1002/9781119093435.ch128>

7. Магерамов Р.Б., Белоусова Н.В., Шахрай С.Г., Малышкин А.В. Лабораторные ис-

пытания технологии очистки сточных вод алюминиевого производства от фтористых солей // Цветные металлы. 2019. № 6. С. 28–33. <https://doi.org/10.17580/tsm.2019.06.04>

8. Немчинова Н.В., Тютрин А.А., Бараускас А.А. Анализ химического состава техногенных материалов производства первичного алюминия для поиска рациональных методов их переработки // Цветные металлы. 2019. № 12. С. 22–29. <https://doi.org/10.17580/tsm.2019.12.03>

9. Тютрин А.А., Немчинова Н.В., Володькина А.А. Изучение влияния параметров процесса электролиза на основные технико-экономические показатели работы ванн ОА-300М // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2020. Т. 24. № 4. С. 906–918. <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2020-4-906-918>

10. Григорьев В.Г., Тепикин С.В., Кузков А.А., Пьянкин А.П., Тимкина Е.В., Пинаев А.А. Автоматическая подача сырья в производстве алюминия // Вестник Горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии. 2017. № 39. С. 97–104.

11. Бажин В.Ю., Смольников А.Д., Петров П.А. Концепция энергоэффективного производства алюминия «Электролиз 600+» // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 5. Ч. 3. С. 37–40. <https://doi.org/10.18454/IRJ.2016.47.113>

12. Антропов В.В. Качественные параметры огнеупорных материалов применяемых для футеровки агрегатов в алюминиевом производстве // Технико-экономический вестник РУСАЛа. 2003. № 3. С. 34–39.

Сведения об авторах / Information about the Authors

Данекин Алексей Викторович, магистрант группы ЦМ-20-28 М, Институт металлургии и материаловедения, Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79, Российская Федерация, e-mail: aleksei.danekin@yandex.ru

Alexey V. Danekin, Postgraduate, Institute of Metallurgy and Materials Science, Siberian Federal University, 79 Svobodny Ave, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation, e-mail: aleksei.danekin@yandex.ru

Немчинова Нина Владимировна,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой металлургии цветных
металлов,
Институт высоких технологий,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Рос-
сийская Федерация,
e-mail: ninavn@yandex.ru

Nina V. Nemchinova,
Doc. Sci. (Technics), Professor,
Head of Metallurgy of Non-Ferrous Metals De-
partment,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov Str., Irkutsk, 664074, Russian
Federation,
e-mail: ninavn@yandex.ru