

УДК 669.713

МОНИТОРИНГ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ АЛЮМИНИЕВЫХ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ С АНОДОМ СОДЕРБЕРГА

© 2013 г. В.К. Фризоргер, Э.М. Гильдебрандт, Е.П. Вершинина

Институт цветных металлов и материаловедения Сибирского федерального университета (ИЦМиМ «СФУ»), г. Красноярск

ООО «Русская инжиниринговая компания», г. Красноярск

Проведен анализ основных технико-экономических показателей работы одного из алюминиевых заводов ОК «РУСАЛ» за длительный период времени. Совершенствование технологии позволило значительно повысить эффективность схемы электролиза с анодом Содерберга. Показаны перспективы развития метода при переходе на «коллоидный» анод и модернизированную конструкцию электролизера.

Ключевые слова: электролиз алюминия, технико-экономические показатели, электролизер, анод Содерберга.

An analysis of the main technical-and-economic performance measures of one of aluminum works: OK «RUSAL» for a long run has been carried out. Technological advancement allowed raising considerably the efficiency of the electrolysis schematic with Soderberg anode. The prospects for the method development are shown in passing to a «colloidal» anode and the updated electrolysis bath design.

Key words: aluminum electrolysis, technical-and-economic measures, electrolysis bath, Soderberg anode.

Алюминиевые электролизеры с самообжигающимся анодом Содерберга и верхним подводом тока установлены на Красноярском, Братском, Иркутском, Новокузнецком и Волгоградском алюминиевых заводах ОК «РУСАЛ». Эта конструкция аппаратов осваивалась в 60–70-е годы прошлого века. В настоящее время они эксплуатируются с силой тока до 180 кА, а их доля в производстве компании составляет ~ 60 %.

В данной статье проведен анализ основных показателей работы алюминиевых электролизеров С-8БМ и С-8Б конструкции ВАМИ на предприятии «РУСАЛ Красноярск» с 1970 по 2010 г. В этот период произошел переход от технологии традиционного «жирного» анода, предложенной еще в 1927 г. норвежским инженером Содербергом, к схемам «сухого», а затем «коллоидного» анодов, включающий как изменение состава анодной массы, так и целый комплекс конструкционных и технологических мероприятий.

В технологии «жирного» анода использовалась масса с содержанием пека-связующего 32–34 %. При установке анодного штыря-токоподвода на новый горизонт жидкая масса с верхней части анода самопроизвольно заполняла лунку из-под штыря. Во время энергетического кризиса в 1970-е годы фирмой «Sumitomo» (Япония) была разработана технология «сухого» анода. Количество каменноугольного пека в «сухой» анодной массе было снижено до 26–28 %.

Уменьшение содержания связующего обусловило улучшение технологических и экологических показателей процесса «сухого» анода, и он был взят на вооружение многими алюминиевыми компаниями, эксплуатирующими такого типа электролизеры, в том числе и крупнейшими российскими заводами.

В России технология «сухого» анода предложена к внедрению фирмой «Kaiser Aluminium & Chemical Corporation» (США) для Красноярского алюминиевого завода (ныне ОАО «РУСАЛ Красноярск»).

Фризоргер В.К. – руководитель проекта ООО «Русская инжиниринговая компания» ОК «РУСАЛ» (660111, г. Красноярск, ул. Пограничников, 16). Тел.: (3912) 56-43-86. E-mail: frizorger@etc.rusal.ru.

Гильдебрандт Э.М. – канд. хим. наук, профессор кафедры композиционных материалов физикохимии металлургических процессов ИЦМиМ «СФУ», (660025, г. Красноярск, пр-т Красноярский рабочий, 95). Тел.: (3912) 06-37-15. E-mail: eduard.gildebrandt@yandex.ru.

Вершинина Е.П. – канд. техн. наук, доцент кафедры металлургии цветных металлов ИЦМиМ «СФУ». Тел.: (3912) 06-37-15. E-mail: vershinina_2710@mail.ru.

Модернизация проведена в 1993—1998 гг. в объеме одного цеха электролиза. Окончательный перевод сибирских предприятий на эту схему завершился в 2006 г.

С переходом на технологию «сухого» анода стали применять пек с повышенной температурой размягчения, что потребовало поднять температурные параметры вовлекаемого в производство пека и кокса на 10—20 °С. Ужесточились требования к вариативности параметров по всей технологической линии производства «сухой» анодной массы. В анодном производстве заменено основное оборудование: смесители, подогреватели, грохоты, мельницы, дозаторы, системы управления технологическими переделами. Практически все оно было закуплено за рубежом.

Физические свойства «сухой» анодной массы улучшились по отношению к «жирной». Например, удельное электрическое сопротивление уменьшилось с 85—75 до 70—65 мкОм·м, механическая прочность на сжатие возросла с 30—25 до 40—35, разрушаемость в токе CO₂ снизилась с 60—50 до 30—25 мг/(см²·ч).

В корпусах электролиза произведена модернизация анодных кожухов, включавшая выравнивание их стенок, изменение конструкции контрфорсов в целях формирования целостного анодного массива. Приобретена обрабатывающая техника для выполнения операций по обслуживанию анода — машина по прорезке и подпрессовке боковой стороны анода, устройство для загрузки анодной массы, краны-полуавтоматы для перестановки штырей. Аноды переведены на новую схему расстановки штырей (с 2- на 12-горизонтную). Эти меры в совокупности с существенным переходом на токоподводящие штыри с увеличенной длиной (209 см вместо 196 см) позволили снизить перепад напряжения в аноде на 40—60 мВ. За счет проведения технических мероприятий температура поверхности анода уменьшилась с 154 до 145 °С, а уровень коксопековой композиции верхней необожженной части анода увеличился с 31 до 34 см.

Совершенствовалась и управленческая структура предприятия, осуществлялось крупномасштабное обучение технологического персонала анодного производства и корпусов электролиза.

Динамика изменения основных технико-экономических показателей электролиза в ОАО «РУСАЛ Красноярск» за длительный период времени показана на рис. 1—6.

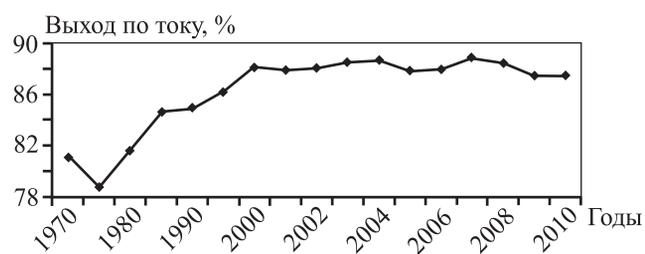


Рис. 1. Выход по току

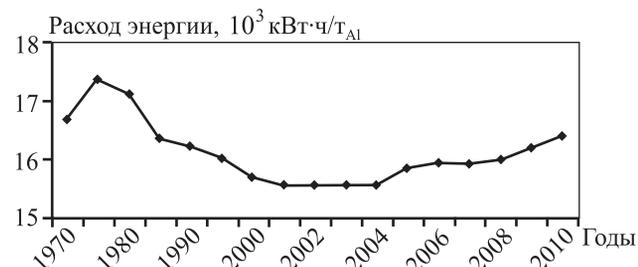


Рис. 2. Удельный расход электроэнергии

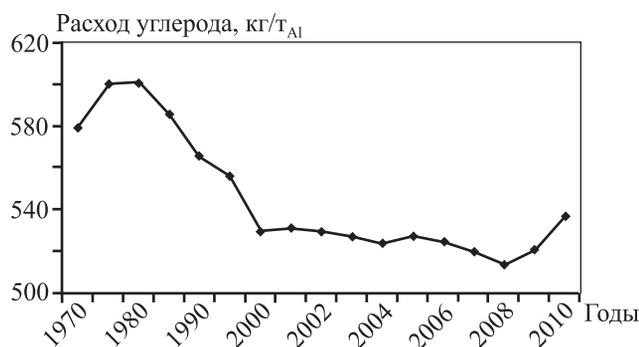


Рис. 3. Расход анодной массы

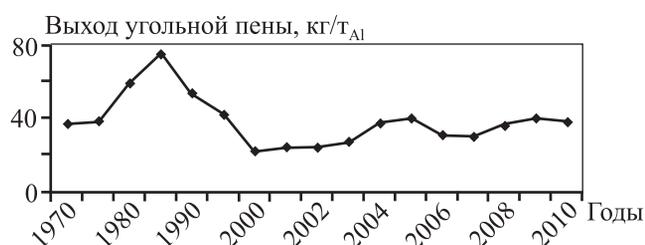


Рис. 4. Выход угольной пены

Сравнение этих показателей работы предприятия позволяет оценить результаты проделанной работы, которая условно названа как переход от технологии «жирного» анода к «сухому». В табл. 1 приведены данные за 1995, 2007 и 2010 гг.

Таким образом, внедрение нового оборудования и совершенствование технологии обеспечили увеличение выхода по току, снижение расходов электрической энергии и углерода, а также выхода угольной пены. Эти показатели достигнуты в условиях

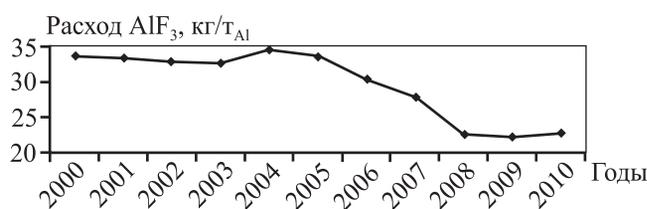


Рис. 5. Удельный расход фторида алюминия

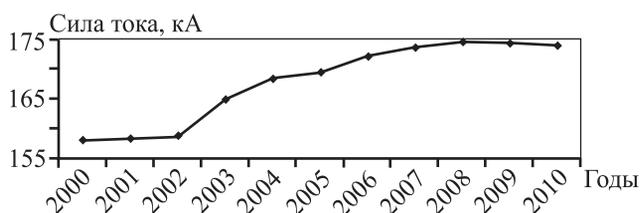


Рис. 6. Изменение силы тока на электролизерах

Таблица 1

Показатели работы ОАО «РУСАЛ Красноярск» до и после перехода на технологию «сухого» анода

| Показатель | 1995 г. | 2007 г. | 2010 г. |
|-------------------------------------|---------|---------|---------|
| Выход по току, % | 86,2 | 88,8 | 87,5 |
| Расход эл. энергии, кВт·ч/т $_{Al}$ | 16040 | 15917 | 16397 |
| Расход анодной массы, кг/т $_{Al}$ | 556 | 514 | 537 |
| Выход пены, кг/т $_{Al}$ | 42 | 30 | 38 |
| Сила тока, кА | 156,7 | 174,6 | 173,8 |

повышения силы тока на электролизере со 156,7 кА в 1995 г. до 174,6 кА в 2008 г.

В рамках модернизации технологии электролиза с анодом Содерберга ОК «РУСАЛ» с 2005 г. приступила к работам по проекту «Экологический Содерберг» [1, 2], стратегическая цель которого — на базе существующей конструкции С-8БМ создать конку-

рентоспособный электролизер С-8БМЭ. Ставилась задача обеспечить высокие технико-экономические показатели процесса электролиза и снижение выбросов вредных веществ, в том числе:

- увеличить выход по току до 92 %;
- повысить силу тока до 185 кА;
- сократить расход анодной массы до 490 кг/т $_{Al}$;
- уменьшить затраты электроэнергии до 15500 кВт·ч/т $_{Al}$;
- снизить расход фторида алюминия до 20 кг/т $_{Al}$.

Проект «Экологический Содерберг» включал следующий комплекс работ:

- разработку технологии и оборудования по производству анодной массы;
- совершенствование метода изготовления и конструкции катодного узла;
- создание технологии анода и электролиза с современной автоматизированной системой управления;
- комплекс мероприятий по сжиганию и удалению газов от электролизера;
- создание автоматизированной системы по транспортировке и питанию электролизера сырьем;
- разработку механизмов, устройств и инструментов, исключаящих или снижающих долю ручного труда в обслуживании электролизера.

В 2008 г. проведены испытания и отработана схема производства «коллоидной» анодной массы с содержанием пека 24 % и эксплуатации пилотной серии электролизеров С-8БМЭ [3]. В табл. 2 сравниваются показатели работы 86 таких ванн в течение 2010 г. с зарубежными аналогами [4]. Из ее данных видно, что по ряду важнейших параметров электролизер С-8БМЭ превосходит норвежские ванны с анодом Содерберга, считающиеся в данный момент

Таблица 2

Показатели промышленной технологии С-8БМЭ в сравнении с зарубежными заводами с анодом Содерберга

| Показатель | С-8БМЭ | «Elkem Aluminum Lista, Norway» | «Aratu-Alkan, Brasil» |
|--|--------|--------------------------------|-----------------------|
| Сила тока, кА | 174,7 | 123 | 117,6 |
| Выход по току, % | 91,5 | 91,5 | 89-90 |
| Производительность, кг/сут | 1320 | 850 | 837 |
| Уд. расход электроэнергии, кВт·ч/т $_{Al}$ | 15500 | 16900 | 15700 |
| Расход анодной массы, кг/т $_{Al}$ | 490 | 495 | 516 |
| Расход AlF_3 , кг/т $_{Al}$ | 15-17 | 15 | — |
| Экологические параметры | С-8БМЭ | «Elkem Aluminum Lista», Norway | OSPAR 2010 |
| F_{Σ} , кг/т $_{Al}$ | 0,6 | < 0,5 | < 0,6 |
| ПАУ(бенз(а)пирен), кг/т $_{Al}$ | 0,0085 | 0,008 | ≤ 0,01 |

наиболее совершенными, что доказывает конкурентоспособность «Экологического Содерберга». С 2010 г. новая технология внедряется в 4 корпусах завода ОАО «РУСАЛ Красноярск» (замена ведется по плану капитального ремонта). В настоящее время там работают 174 таких электролизера и планируется перевод всех аппаратов, работающих с анодом Содерберга на предприятиях компании, на технологию «Экологический Содерберг».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведен сравнительный анализ основных показателей работы электролизеров с анодом Содерберга за длительный период времени. Показано, что последовательная модернизация технологического

процесса электролиза и оборудования, проводимая на предприятии ОАО «РУСАЛ Красноярск», позволяет сохранить в ближайшие десятилетия конкурентоспособность технологии на электролизерах С-8БМЭ с «коллоидным» анодом Содерберга.

ЛИТЕРАТУРА

1. Mann V.H. // Light Metals. 2006. P. 181—183.
2. Пат. 228938 (РФ). Способ получения пека связующего для электродных материалов / В.К. Фризоргер, В.Х. Манн, А.Н. Анушенков, С.А. Храменко. 2006.
3. Frizorger V.K., Gil'debrandt E.M., Vershinina E.P. // Rus. J. of Non-Ferrous Metals. 2010. Vol. 51, № 2. P. 119—123.
4. Primary Aluminium Smelters and Producers of the World / Comp. R.P. Pawlek. GmbH: BeuthVerlag, 2011. № 9.

УДК 622.7

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАСКРЫТИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ АССОЦИАЦИЙ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ РУД ПО КОМБИНИРОВАННЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ

© 2013 г. Л.С. Стрижко, Т.А. Стрекалова, В.В. Коростовенко, В.А. Стрекалова

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва
Институт цветных металлов и материаловедения Сибирского федерального университета (ИЦМиМ «СФУ»), г. Красноярск

На примере редкоземельных руд Татарского и Томторского месторождений (Красноярский кр.) рассмотрена возможность повышения степени раскрытия исследуемых проб за счет разрядно-импульсной интенсификации процесса измельчения. Применение комбинированной схемы рудоподготовки «измельчение 20 мин – разрядно-импульсная обработка с удельной энергией 9,2 кДж/дм³» позволит повысить степень извлечения лантана и иттрия в кислый раствор на 3,8 и 2,8 % соответственно при спекании подготовленных проб с содой.

Ключевые слова: разрядно-импульсная интенсификация, измельчение, степень извлечения, лантан, иттрий, кислый раствор, спекание, пробы с содой.

In terms of rare-earth ores of the Tatarsky and Tomtorsky deposits (Krasnoyarsky Territory), the possibility of increasing the extent of investigated sample breaking down by means of discharge-impulse intensification of the grinding process is considered. The use of the combined scheme of ore dressing called «grinding for 20 minutes – discharge-impulse processing with specific energy of 9,2 kJ/dm³» allows increasing the extent of lanthanum and yttrium recovery into the acid solution by 3,8 and 2,8 % respectively during sintering of processed samples with soda.

Key words: discharge-impulse intensification, grinding, recovery extent, lanthanum, yttrium, acid solution, sintering, samples with soda.

Стрижко Л.С. – докт. техн. наук, проф., зам. зав. кафедрой цветных металлов и золота НИТУ «МИСиС» (119049, г. Москва, В-49, Ленинский пр-т, 4). Тел.: (499) 237-36-33. E-mail: sls_2007.47@mail.ru.

Стрекалова Т.А. – канд. техн. наук, доцент кафедры техносферной безопасности горного и металлургического производства ИЦМиМ «СФУ» (660025, г. Красноярск, пр-т Красноярский рабочий, 95). E-mail: sta2277@mail.ru.

Коростовенко В.В. – докт. техн. наук, проф., зав. той же кафедрой. Тел.: (391) 206-36-18. E-mail: korostovenko@mail.ru.

Стрекалова В.А. – ст. преподаватель той же кафедры.