

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРОИЗВОДСТВА АЛЮМИНИЯ ПО ТЕХНОЛОГИИ СОДЕРБЕРГА

Альшанская А.А., Мещеряков И.В.
научный руководитель, д.т.н. А.Н. Анушенков
Сибирский федеральный университет

Промышленное производство первичного алюминия осуществляется электролизом металлургического глинозема (оксида алюминия Al_2O_3) в расплаве криолита ($3NaF \cdot AlF_3$). Этот процесс осуществляется в электролизерах, аноды которых могут иметь различное конструктивное исполнение. В начале промышленного производства в качестве анодов использовали предварительно обожженные углеграфитовые блоки (ОА), которые затем (по экономическим соображениям) были заменены на самообжигающиеся аноды (СОА), предложенным инженером К. Содербергом, которые изготавливали из анодной массы — смеси электродных коксов и каменноугольного пека. Переход на аноды Содерберга позволил снизить себестоимость алюминии и инвестиции в строительство алюминиевых предприятий. Поэтому электролизеры с анодом Содерберга, внедрение которых началось в 1926г, становятся, в последующий период доминирующей конструкцией на всех алюминиевых заводах мира, а сила тока на них достигает 170 кА.

Однако накопленный в дальнейшем опыт эксплуатации электролизеров с анодом Содерберга показал, что, несмотря на экономическую привлекательность, они обладают двумя основными недостатками:

- сдерживают дальнейший рост силы тока и производительности;
- при их эксплуатации, происходит выделение смолистых соединений с поверхности, анода, содержащих полиароматические углеводороды (ПАУ), значительная часть которых являются канцерогенными и относятся к первому классу опасности, превышает допустимые санитарные нормы.

В связи с этим со второй половины XX в: началось широкое внедрение электролизеров с предварительно обожженными анодами, которые практически не выделяют смолистых соединений. Сила тока на них достигла 400 кА, и есть возможность ее дальнейшего увеличения.

На российских заводах к началу этого столетия доля электролизеров с верхним токоподводом (ВТ) составляла ~72 %, с боковым токоподводом (БТ) 16% и обожженными анодами (ОА) ~ 12%. На электролизерах с анодами Содерберга (СА) производилось ~ 88% алюминии России. В мировой промышленности большую часть металла получают на ваннах с ОА, доля которых составляла ~ 70 % а в странах Европы и Америки даже порядка ~77 % [1].

В 2009 г. в России работали 12 алюминиевых заводов, на которых эксплуатировались 9365 электролизеров различных типов [2]. Ниже приведен состав (в шт.) парка электролизеров на заводах России:

Анод Содерберга, боковой токоподвод (БТ).....	1806
Анод Содерберга, верхний токоподвод (ВТ).....	5659
Электролизер с обожженными анодами (ОА).....	1900
Всего	9365

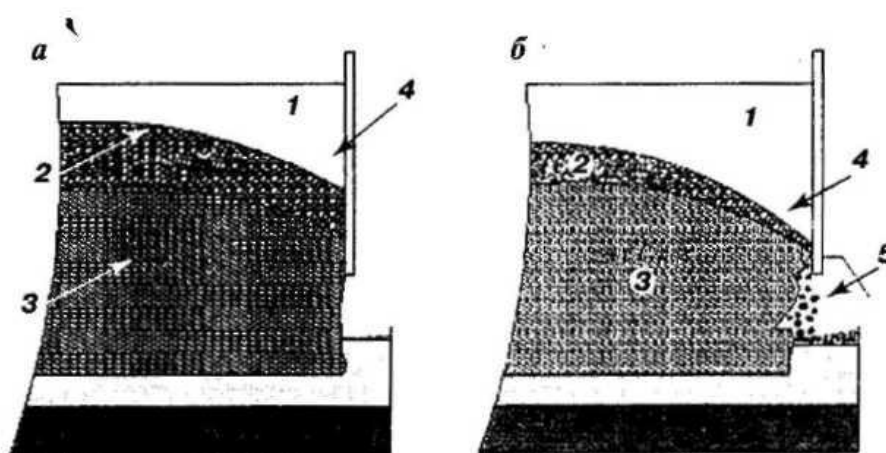
Таким образом, в России доминирующим, типом являются электролизеры с анодом Содерберга.

Эффективность электролизера для производства алюминия во многом определяет технология анодного узла, интегральной характеристикой работы которого является выход угольной пены. Лучшие зарубежные заводы с аналогичной технологией работают с выходом угольной пены 10—20 кг/т, на отечественных заводах этот показатель варьируется от 25 до 50 кг/т [3]. Снижение выхода угольной пены — это не только повышение эффективности процесса электролиза, но и снижение трудозатрат, расходных коэффициентов по сырью, электроэнергии, материалам, снижение эмиссии вредных веществ в окружающую атмосферу.

Выход угольной пены зависит от многих факторов: качества используемых кокса и пека, аппаратурного оснащения участков производства анодной массы, технологии эксплуатации анодов и ведения технологии электролиза в целом.

В 2006 г. на ОАО БрАЗ была проведена работа по определению значимости факторов и технологических параметров, оказывающих влияние на выход угольной пены. Работа заключалась в пассивном эксперименте с использованием классических методов аналитической статистики, с помощью которых были выявлены определенные зависимости [3]. В рамках данной работы была выявлена сезонная закономерность в выходе угольной пены: в летний период выход угольной пены снижается, в зимний — растет. Потому была предложена гипотеза, что одним из наиболее значимых параметров, определяющих выход угольной пены, является величина конуса спекания анода по периферии, что связано с неоднородностью процессов спекания анода в центре анодного массива и по периферии.

На рисунке 1 представлен пример неоднородного спекания боковой поверхности анода.



1 — жидкая фаза; 2 — зона полукокса; 3 — зона кокса; 4 — конус спекания;
5 — угольная пена с боковой поверхности

Рисунок 1 - Конус спекания анода в летний период (а) и в зимний (б):

Косвенно на недоспекание анодной массы по периферии анода в зимний период указывает годовая динамика изменения профиля конуса спекания анода в центральной части.

При работе алюминиевого электролизера Содерберга формирование структуры анода обеспечивается за счёт самоуплотнения анодной массы под собственным весом в зоне расплавления. При этом в зоне соприкосновения анодной массы с анодным кожухом, ввиду наличия тепловых потерь, расплавление происходит со следующими нежелательными процессами:

- прилипание анодной массы к кожуху;
- возникновение разрывов в целостности столба анодной массы;
- образование пузырей воздуха и газов в коксующейся части тела анода.

На рисунке 2 представлена схема образования трещин и козырьков в аноде Содерберга.

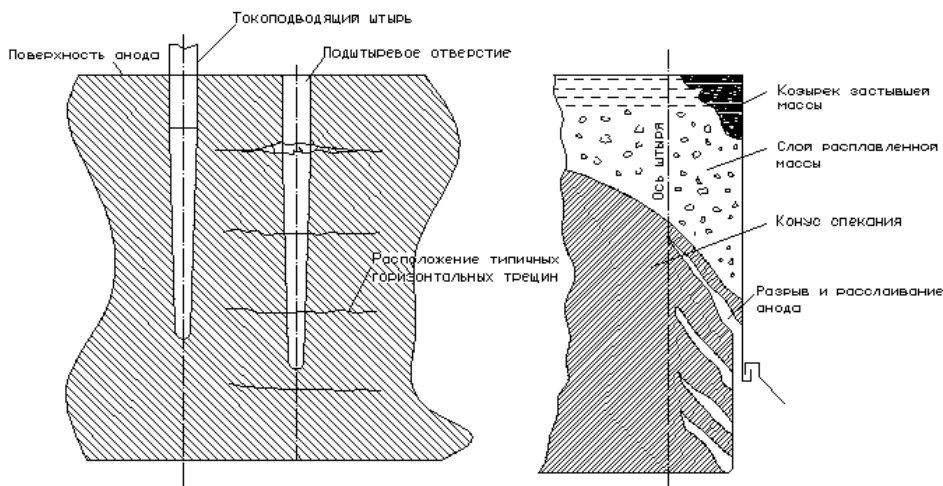


Рисунок – 2 Схема зон образования трещин и козырьков в аноде Содерберга.

Трещины на аноде весьма нежелательны, так как они разделяют анод на изолированные участки, препятствуют перетеканию и выравниванию тока в горизонтальном сечении анода. Кроме того, на электролизерах с верхним токоподводом наличие трещин и козырьков анодной массы может стать причиной прорыва анодной массы в электролит, а в некоторых случаях — частичного или полного разрушения анода.

Серьезные исследования причин образования горизонтальных трещин выполнены специалистами завода Кармоу (Hydro Aluminium, Норвегия) [4].

Согласно результатам их исследований, образование горизонтальных трещин берет начало в жидкой фазе анодов.

Образование «козырьков» по периферии анодного кожуха приводит к затягиванию жидкой массы, обогащенной пеком, под «козырек» при подъеме анодной рубашки. В последующем это может вызвать образование пористой структуры на боковой поверхности анода. На рисунке 2 показано, что многие из горизонтальных трещин и козырьков анодной массы располагаются с регулярностью и расстоянием, равными периодичности и высоте перестановки штырей, т.е. в жидкой фазе анода.

За многолетнюю практику проблема неравномерного спекания анода решалась путем снижения конуса спекания анода в центре посредством установки ребер охлаждения в тело анода. Однако установка ребер охлаждения не позволила качественно решить проблему неравномерного спекания. Решались только последствия неравномерного распределения тепла в анодном массиве, первопричина данной неравномерности спекания оставалась нерешенной. Иные эксперименты, направленные на снижение конуса спекания анода по центру (утепление поясков газосборного колокола, изменение высоты столба анода), также не привели к решению обозначенной проблемы.

Для безопасной и оптимальной работы электролизера необходимо

При современном состоянии технологии производства алюминия необходимо принять такие технические и организационные решения, внедрение которых не потребует больших инвестиций, но улучшит технико-экономические и экологические показатели серий и будет способствовать снижению затрат на производство в целом.

Необходимо сосредоточить усилия на следующих направлениях:

- техническом, ориентированном на решение технологических вопросов и улучшение технического состояния электролизеров с анодом Содерберга;
- экологическом, ориентированном на повышение экологической безопасности электролизеров с анодом Содерберга.

Можно сделать вывод, что для снижения влияния и даже устранения большинства негативных факторов работы анодного узла необходимо формировать анод еще в жидкой фазе, который на уровне подошвы имеет низкую реакционную способность, низкий выход пены и высокую плотность.

Список литературы

1. Минцис М.Я., Сиразутдинов Г.А., Галевский Г.В. «Электролизеры с анодом Содерберга и возможности их модернизации» Цветные металлы 2010№12 стр 49-52
2. Ножко С.И., Ворона А.Б., Турусов С.Н., Янко Э.А. «Повышение эффективности работы алюминиевого электролизера с сасообжигающимся анодом и верхним токоподводом посредством дифференцированной расстановки анодных штырей» Цветные металлы 2010№3 стр 62-64
3. Янко Э.А. Аноды алюминиевых электролизеров [Текст]: науч. изд./ Э.А. Янко. – М.: Руда и металлы, 2001. – 671 С.
4. Фризоргер В.К. Технология коллоидной анодной массы для анода Содерберга. / В.К. Фризоргер, С.А. Храменко, А.Н. Анушенков // Алюминий Сибири –2008 [Текст] // Труды международного научного семинара (сентябрь). – Красноярск, 2008. – с. 209 – 212.
5. Минцис М.Я., Сиразутдинов Г.А., Галевский Г.В. «Электролизеры с анодом Содерберга и возможности их модернизации» Цветные металлы 2010№12 стр 49-52
6. Бегунов А. И., Бегунов А.А. «Модернизация электролизных производств с использованием анодов Содерберга» Цветные металлы 2011.№7 стр 45-49
7. Альшанская А. А. Разработка технологии дегазации анодной массы в процессе формирования анода Содерберга с верхнимтокоподводом // Сб. материалов Всероссийской научно-тех. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных. МИОЦ ВПО «СФУ». – Красноярск, 2008. – 453 с.
8. Альшанская А. А., Анушенков А.Н. Устройство подтрамбовки и дегазации анодной массы в процессе формирования анода Содерберга // Сб. материалов Всероссийской научно-тех. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных. МИОЦ ФГОУ ВПО «СФУ». – Красноярск, 2009 – 246 с.
9. Альшанская А. А. Технология дегазации анодной массы в процессе формирования анода Содерберга с верхнимтокоподводом // Сб. материалов Всероссийской научно-тех. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных. МИОЦ ФГОУ ВПО «СФУ». – Ачинск, 2009 – 274 с.