

Methods of indirect measurement of parameters of aluminum reduction process

Tishkin A.

Методы косвенного измерения параметров процесса электролиза алюминия

Тишкин А. С.

*Тишкин Александр Сергеевич / Tishkin Alexander - аспирант,
кафедра автоматизации технологических процессов и производств, факультет переработки минерального сырья,
Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург*

Аннотация: в данной статье рассмотрено развитие систем и способов управления процессом электролитического получения алюминия, а также рассмотрена зависимость обратной ЭДС от параметров процесса, полученная обработкой экспериментальных данных, как метод косвенного оценивания. Были сопоставлены рассчитанные и экспериментальные значения обратной ЭДС в зависимости от температуры расплава T при плотности тока, межполюсном расстоянии, величине КО и концентрации глинозема по данным разных авторов.

Abstract: the development of systems and methods for control of aluminum reduction process and the dependence of the back EMF process parameters obtained by processing experimental data, as a method of indirect estimating. The experimental values backward EMF were computed and compared as function of the melt temperature T at a current density, pole distance, size, criolyte ratio and concentration of alumina according to different authors.

Ключевые слова: электролиз, обратная ЭДС, алюминий, криолитовое отношение, межполюсное расстояние.

Keywords: reduction, backward emf, aluminum, criolyte ratio, interpolar distance.

В настоящее время практически весь алюминий получают электролизом криолит-глинозёмного расплава по способу Эру-Холла. Технично-экономические показатели (ТЭП) производства алюминия в значительной степени зависят от технологических параметров работы электролизёра: рабочего напряжения, уровня металла, состава электролита, температуры расплава и величины межполюсного расстояния (МПР). Основными целями и задачами систем контроля и управления процессом электролиза является повышение производительности электролизеров, которое может быть обеспечено за счет снижения расхода электроэнергии, благодаря повышению эффективности регулирования напряжения, снижения частоты анодных эффектов вследствие оптимизации процесса питания ванн глиноземом; обнаружения электролизеров с отклонениями от нормального технологического хода и оперативного устранения отклонений; обнаружения и устранения МГД нестабильности ванн; повышения контроля над персоналом и корректировка его действий. Обнаружение аварийных ситуаций и отклонений в работе ванн, которое может быть обеспечено за счет наличия постоянного контроля над величиной напряжения на ванне, предупреждение о длительном анодном эффекте; обнаружения и ликвидации МГД нестабильности на ванне; контроля над состоянием магнитных пускателей предотвращает возможность самопроизвольного движения анода [3].

Одним из направлений повышения эффективности производства является совершенствование средств автоматизации, включая разработку все более совершенных алгоритмов управления электролизером [1].

Автоматизированный контроль технологического процесса на алюминиевых электролизерах развивается с начала становления алюминиевой промышленности, а за последние годы темп развития АСУ ТП сильно увеличился.

Если рассматривать тенденцию развития систем контроля и управления процессом электролитического получения алюминия от самых первых, таких как «Алюминий» и заканчивая последними отечественными системами «Троль», можно увидеть переход от централизованных АСУ ТП к децентрализованным.

Централизованные системы, такие как «Алюминий», созданные в середине 60-х годов прошлого века, работают до сегодняшнего времени. Эти системы были распространены в то время, когда стоимость вычислительной техники была очень высокой, а также имели большие размеры [3].

В след за централизованными появились групповые системы. Данные системы позволили создавать более сложные алгоритмы.

Обе системы имели ряд недостатков: редкое время обегания ванн для измерения, малое время измерения напряжения, и также при отказе вычислительной техники ванны остаются без управления.

Но в последние десятилетия с резким развитием микроэлектроники и ее удешевлением, появились распределенные АСУ ТП, которые позволили использовать для управления каждой электролизной ванной свой индивидуальный контроллер, что увеличило надежность, т.к. при отказе ЭВМ без управления остается только один электролизер. Распределенные системы позволяют получать большой объем информации, что дает большую возможность разрабатывать и реализовывать сложные алгоритмы, которые более точно соответствуют процессам и возмущениям, происходящим в процессе электролиза [3].

Также с развитием систем управления и развиваются способы управления, начиная от способов, которые заключаются в стабилизации электролита, включающие управление подачей Al_2O_3 в электролизер; либо стабилизации измеряемых и косвенных параметров, зависящих от МПР, а именно «приведенного» напряжения; а также способов, основанных на измерении напряжения и силе тока на электролизной ванне, вычисления

сопротивления электролизера и концентрации Al_2O_3 в электролите и изменении положения анодов в зависимости от изменения сопротивления электролизной ванны, а скорость подачи Al_2O_3 в расплав - в зависимости от изменения его концентрации; заканчивая, способом управления электролизом, включающим математическую модель для расчета сопротивления в МПР и концентрации глинозема, изменение подачи глинозема в зависимости от отклонения рассчитанной концентрации глинозема от заданного значения, а также периодическую обработку корки электролита, измерение напряжения и тока. Математическая модель корректируется по результатам измерения температуры между обработкой корки.

Но вне зависимости развития АСУ ТП, технология электролиза алюминия обуславливает особенность управления процессом получения алюминия, которая состоит в недостаточном уровне информации о параметрах процесса, собираемой системами управления. Из развития способов управления видно, что последние способы для оптимизации задач электролитического получения алюминия начали использовать моделирование как необходимый инструмент развития технологического режима алюминиевого производства. Системы управления с математическими моделями дают возможность рассчитывать и предсказывать изменения в измеряемых и неизменяемых параметрах процесса, вырабатывать управляющие воздействия в результате колебаний потоков сырья, технологических действий операторов процесса, влияния окружающей среды [4].

Поэтому основные направления совершенствования систем управления водятся к поиску методов косвенного оценивания не измеряемых параметров процесса электролиза по результатам измерений напряжения и тока на электролизере и изменений межполюсного расстояния, работы АПП.

Контролю системам АСУ ТП доступны всего лишь напряжения и тока на электролизере, данные параметры связаны с переменными состояния электролизера не непосредственно, а через его сопротивление R и обратную ЭДС E :

$$U = IR + E \quad (1)$$

$$R = f(L, C, T, KO); \quad (2a)$$

$$E = f(L, C, T, KO). \quad (2b)$$

Если подставить в (1) выражения для R и E , то получим явную зависимость:

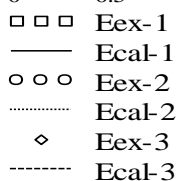
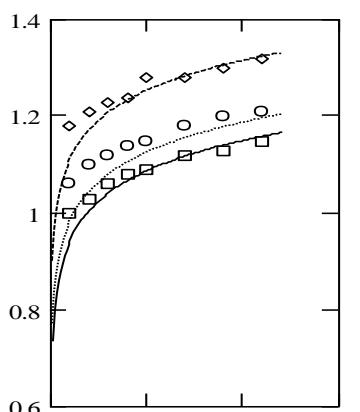
$$U = f(L, C, T, I, KO), \quad (3)$$

которую можно трактовать как уравнение косвенных измерений переменных состояния электролизера.

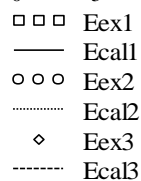
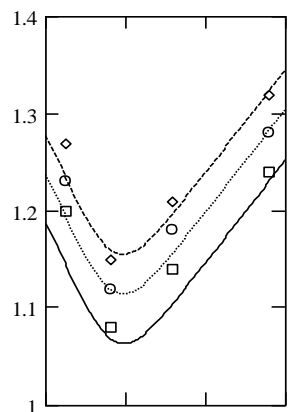
Некоторыми исследователями были проведены экспериментальные работы по определению зависимости обратной ЭДС от различных параметров процесса, но полученные зависимости обратной ЭДС имели расхождения, т.к. экспериментальные работы проводились в различных условиях, с разными по составу пробами, а также электродами и ячейками.

На основе полученных данных был проведен регрессионный анализ для получения зависимостей обратной ЭДС от различных параметров по данным авторов П. Дроссбаха [5, с. 34] и С. В. Карпачева [6, с. 422].

Экспериментальные и расчетные значения обратной ЭДС (E , В) в зависимости от плотности тока (D , А/см²) и состава расплава при температуре 985-995°С и МПР 2.5 см по данным С. В. Карпачева представлены на рисунке 1.



a)



б)

Рис. 1. Зависимости обратной ЭДС от плотности тока и концентрации глинозема:
а) от плотности тока, А/см²; б) от концентрации Al₂O₃, %

Данная обработка экспериментальных зависимостей обратной ЭДС различных авторов показала, что их можно обобщить с помощью представленной ниже зависимости (6) с точностью до постоянного аддитивного коэффициента kE_0 , неизменного в пределах экспериментальной серии, но изменяющегося в зависимости от условий эксперимента, осуществленного разными авторами.

$$E(n, C, T, L, KO, D) = kE_0 + (-3,4 \cdot 10^{-3}) \cdot (T - 965) + 0,0155 \cdot (L - 5) - (6,25 \cdot 10^{-3})(KO - 2,75) - 0,145 \cdot \ln\left(\frac{C}{4}\right) + (3,45 \cdot 10^{-2}) \cdot (C - 4) + 0,09 \cdot \ln(D), \quad (4)$$

Где E - обратная ЭДС, В; C - концентрация Al₂O₃ в расплаве, % (вес); T - температура расплава, С; L - межполюсное расстояние, см; KO - криолитовое отношение, дол. ед.; D - анодная плотность тока, А/см²; kE_0 - константа, численно равная E номинальному при принятых номинальных значениях перечисленных выше параметров. Коэффициент kE_0 равен соответственно 1.66, 1.71, 1.63, 1.275 В по 4 сериям экспериментальных данных разных авторов [5], [6].

При сопоставлении рассчитанных данных по формуле (4) и экспериментальных значения обратной ЭДС в зависимости от температуры расплава T при плотности тока, межполюсном расстоянии, величине KO и концентрации глинозема относительная погрешность аппроксимации составила не более 3,5%.

Определение аддитивных коэффициентов уравнений математической модели в составе системы управления процессом электролиза алюминия и создание алгоритмов подбора этих коэффициентов позволят оперативно идентифицировать состояние каждого электролизера, приведет к повышению технико-экономических показателей процесса.

Литература

1. Фитерман М. Я., Берх В. И., Локиин Р. Г. Пути повышения эффективности производства и улучшения организации труда при автоматизации предприятий алюминиевой подотрасли: обзор. М., 1989. 48 с.
2. Демыкин П. А. АСУТП как инструмент повышения эффективности электролиза криолитоглиноземных расплавов : лекция на VII высших алюминиевых курсах / П. А. Демыкин. Красноярск, 2004 20 с.
3. Локиин Р. Г., Ланкин В. П., Калужский Н. А. Способ управления алюминиевым электролизером.
4. Галевский Г. В., Кулагин Н. М., Минцис М. Я., Сиразутдинов Г. А. Металлургия алюминия. Технология, электроснабжение, автоматизация: учебное пособие для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. / Г. В. Галевский, Н. М. Кулагин, М. Я. Минцис, Г. А. Сиразутдинов. М.: Флинта: Наука, 2008. 529 с.
5. П. Дроссбах. Цайтшрифт фюр Электрохеми. 34. 205, 1928.
6. Карпачев С. В., Ремпель С. И., Иордан Е. Ф. Исследование анодного перенапряжения в расплавленных смесях криолита с окисью алюминия. Журнал физической химии. XIII. Вып. 4, 422, 1949.