

**ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ  
СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

УДК 661.931

*И. Ф. ЧЕРВОННЫЙ*, д-р техн. наук, проф., зав. каф., ЗГИА, Запорожье;  
*Г. И. ЩЕРБАНЬ*, асп., ЗГИА, Запорожье;  
*И. Е. ЛУКОШНИКОВ*, канд. техн. наук, доц., ЗГИА, Запорожье;  
*Д. В. ПРУТЦКОВ*, д-р хим. наук, с. н. с., зав. лаб., ГП «ГНИП Институт титана», Запорожье

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО ПОЛУЧЕНИЯ АЛЮМИНИЯ**

На основе анализа соотношения плотностей расплавов алюминия и электролита в процессе электролитического получения алюминия получена зависимость оптимального уровня расплава алюминия от изменения технологических характеристик процесса электролиза. Показана возможность автоматизации процесса, при учете колебаний уровней расплава, с обеспечением максимальной производительности процесса. Из.: 2. Библиогр.: 6 назв

**Ключевые слова:** алюминий, глинозем, электролизер, оптимизация, контроль, межполюсное расстояние.

### **Введение**

Расплавы алюминия и электролита являются основными составляющими при производстве алюминия электролитическим методом. Для ведения процесса электролиза с высокими показателями выхода по току и энергии возникает необходимость непрерывно контролировать следующие параметры:

- количество выбранного и оставшегося алюминия в электролитической ванне;
- уровень расплава алюминия в электролизере для регулирования теплоотдачи;
- уровень расплава электролита в электролизере для поддержания условий растворимости глинозема;
- разность плотностей расплавов алюминия и электролита для надежного разделения двух жидких фаз.

Существующие методы измерения уровня расплавов алюминия и электролита в электролизере разделяются на «ручные» и «автоматические».

К «ручным» методам можно отнести «измерение с помощью механических устройств», «метод реперной точки» и другими, им подобными методами. Погрешность ручных измерений уровней металла и электролита связана с размытостью границы межфазного раздела «металл-электролит» и составляет 1...2 см, т.к. в процессе электролиза, наряду с образованием расплава металла, в электролите происходит образование мелкодисперсной взвеси металлической фазы алюминия [1].

Известны также и автоматические методы контроля уровня расплавов, которые включают или измерение температуры, или специальные датчики положения расплава. Так, в работе [2] специальным устройством пробивается

корка затвердевшего электролита, в расплав опускается измеритель температуры (например, термопара) и выдерживается некоторое время. Затем термопара

© И. Ф. ЧЕРВОННЫЙ, И. И. ЩЕРБАНЬ, И. Е. ЛУКОШНИКОВ, Д. В. ПРУТЦКОВ, 2012

поднимается и, после определенной выдержки, снова измеряется температура, а по разности положения термопары рассчитывается уровень электролита в электролизере. Однако это устройство не получило широкого применения. В работе [3], для установления производительности электролизера, в электролизной ванне размещают специальные трубы, в одной из которых получают чистую поверхность расплава алюминия, а во второй - поверхность электролита. С помощью ультразвуковых датчиков измеряют уровни этих поверхностей и по результатам замеров находят действительные значения уровней алюминия и электролита и по усредненным значениям вычисляют текущее значение производительности электролизной ванны.

В то же время процесс электролиза является динамичным процессом и, чтобы обеспечить заданную производительность и выход по току, необходимо учитывать ряд факторов, таких как размер, форма и материал электродов, интенсивность конвективных потоков в расплаве, падения напряжения в самом электролите и многих других факторов. Для уменьшения падения рабочего напряжения на электролизере необходимо контролировать и поддерживать постоянными межполюсное расстояние (МПР) и состава электролита. Решение задачи по постоянному контролю уровня металла и электролита позволяет

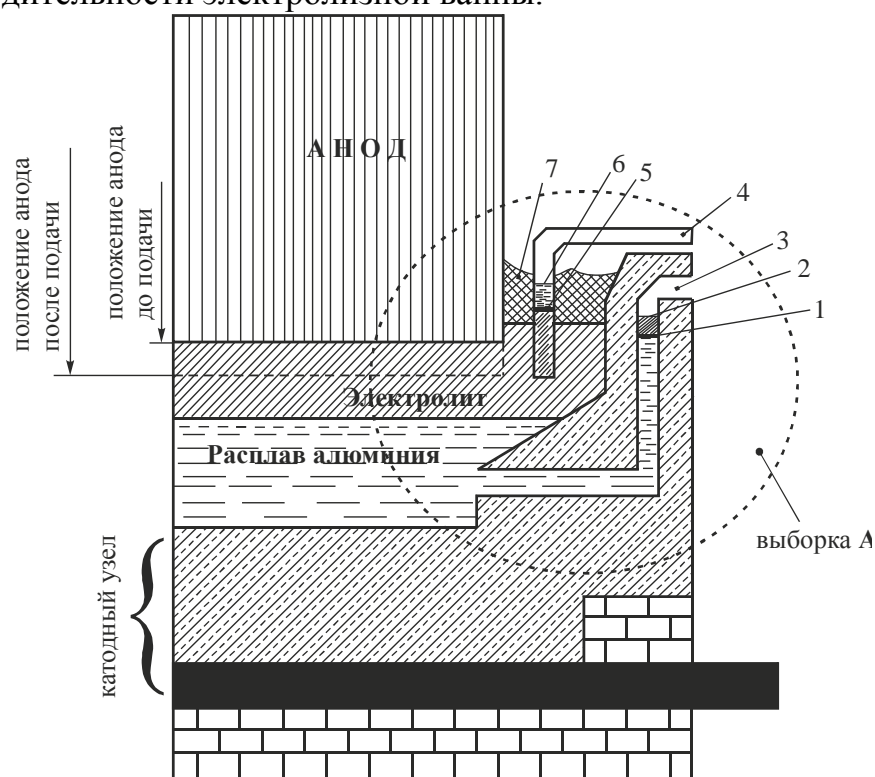


Рис.1 Схема электролизера для анализа уровня расплава алюминия и электролита до и после подачи анода: 1 – уровень алюминия до подачи анода; 2 - уровень алюминия после подачи анода; 3 – труба для создания свободной поверхности алюминия; 4 – труба для создания свободной поверхности электролита; 5 – уровень электролита до подачи анода; 6 – уровень электролита после подачи анода; 7 – корка электролита

поддерживать оптимальные условия для протекания процесса электролиза.

### Цель работы

Установление критериальных зависимостей уровня расплава алюминия от технологических характеристик процесса электролиза для обеспечения возможности текущего контроля технологии и автоматизации процесса в целом.

### Выполнение исследований и обсуждение результатов

Для проведения исследований использовался электролизер с верхним вертикальным анодом. В электролизной ванне размещали трубы, таким образом, что в одной из них получали чистую поверхность расплава алюминия, а во второй – чистую поверхность расплава электролита (рис. 1).

С помощью ультразвуковых датчиков уровней поверхности измеряли уровни поверхностей алюминия и электролита до и после подачи анода. Для выполнения анализа технологических характеристик выберем горизонтальный уровень расплава алюминия в электролизере, ниже которого расплав однороден, т.е. фиксированный уровень расплава алюминия  $h_{00}$  в электролизере (рис. 2).

На рис. 2 приняты следующие обозначения уровней расплавов:

$h_{00}$  – уровень (от подины) расплава алюминия;  $h_{11}$  – общий уровень расплава алюминия с учетом подъема расплава в измерительной трубе до подачи анода;  $h_{21}$  – столб расплава алюминия над фиксированным уровнем до подачи анода;  $h_{22}$  – столб расплава алюминия над фиксированным уровнем после подачи анода;  $h_{12}$  – общий уровень расплава алюминия с учетом подъема расплава в измерительной трубе после подачи анода;  $h_{31}$  – столб расплава электролита над фиксированным уровнем алюминия до подачи анода;  $h_{41}$  – общий уровень расплава электролита с учетом подъема расплава в измерительной трубе до подачи анода;  $h_{32}$  – столб расплава электролита над фиксированным уровнем алюминия после подачи анода;  $h_{42}$  – общий уровень расплава электролита с учетом подъема расплава в измерительной трубе после подачи анода;

Оценку влияния периодического изменения межполюсного расстояния (за счет подачи анода) на производительность анода производили с помощью отношения плотностей расплавов алюминия и электролита. В работах [4, 5]

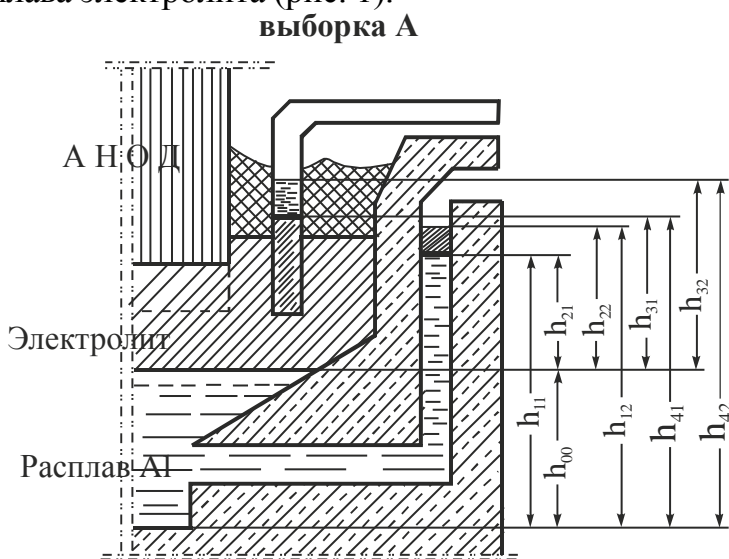


Рис. 2. Уровни расплавов в электролизере – приведена выборка А из рис. 1

отмечается зависимость плотности расплавов алюминия и электролита от температуры

$$d_{Al}=2,382 - 0,000273 \cdot (T - 659),$$

$$d_{эл}=2,112 - 0,00093 \cdot (T - 1000).$$

Кроме этого указывается, что изменение концентрации составляющих электролита также влияет на его плотность. В работе [6] приведена зависимость плотности электролита от концентрации его составляющих и температуры в следующем виде

$$d_{\text{э}} = a \cdot KO + b \cdot C_{Al_2O_3} + c \cdot C_{CaF_2} + d \cdot C_{MgF_2} + e \cdot C_{LiF} + f(T),$$

где a, b, c, d, e – согласующие коэффициенты;

KO – криолитовое соотношение – параметр, характеризующий состав расплавленного электролита;

$C_{Al_2O_3}$  – концентрация глинозема, %;

$C_{CaF_2}$  – концентрация фтористого кальция, %;

$C_{MgF_2}$  – концентрация фтористого магния, %;

$C_{LiF}$  – концентрация фтористого лития, %;

$f(T)$  – температурная зависимость плотности.

Для исключения влияния на плотность конвективных и электродинамических потоков в расплавах алюминия и электролита, значения плотности нами взяты в столбах расплавов в соответствующих измерительных трубах (поз. 3 и 4 на рис. 1). С учетом размерностей, соотношения плотностей расплавов можно представить следующим видом

– до подачи анода

$$\frac{d_{Al}}{d_{эл}} = \frac{h_{31}}{h_{21}};$$

С учетом характеристик уровней (см. рис. 2), получим выражение

$$\frac{d_{Al}}{d_{эл}} = k \cdot \frac{h_{31}}{h_{21}} = k \cdot \frac{h_{41} - h_{00}}{h_{11} - h_{00}};$$

– после подачи анода

$$\frac{d_{Al}}{d_{эл}} = \frac{h_{32}}{h_{22}};$$

Для положения после подачи анода, получим

$$\frac{d_{Al}}{d_{эл}} = k \cdot \frac{h_{32}}{h_{22}} = k \cdot \frac{h_{41} - h_{00} + \Delta h_{эл}}{h_{11} - h_{00} + \Delta h_{Al}};$$

где k – коэффициент, отражающий разницу плотностей расплавов;

$\Delta h_{Al}$  и  $\Delta h_{эл}$  – изменение уровня расплавов при подаче анода, соответственно ( $\Delta h_{Al} = h_{12} - h_{11}$ ;  $\Delta h_{эл} = h_{42} - h_{41}$ ).

Принимая равенство плотностей соответствующих расплавов до и после подачи анода, а следовательно, и их отношение, получим выражение

$$\frac{h_{41} - h_{00}}{h_{11} - h_{00}} = \frac{h_{41} - h_{00} + \Delta h_{эл}}{h_{11} - h_{00} + \Delta h_{Al}}.$$

После преобразования, получим выражение, которое характеризует оптимальный уровень расплава алюминия в ванне для данного типа электролизера

$$h_{00} = \frac{h_{11} \cdot \Delta h_{\text{эл}} - h_{41} \cdot \Delta h_{\text{Al}}}{\Delta h_{\text{эл}} - \Delta h_{\text{Al}}}$$

Так как, согласно [5], плотность расплава алюминия примерно на 10 % выше плотности расплава электролита, то анализ зависимостей плотностей от температуры (см. выше) показывает, что плотность расплава электролита повышается быстрее, чем плотность расплава алюминия. Это может привести к перемешиванию расплавов и снижению производительности электролизера.

Полученная зависимость величины уровня расплава алюминия от характеристик процесса позволяет, по изменению колебаний столба расплава алюминия и столба расплава электролита, вести автоматический контроль процесс электролиза с обеспечением максимальной производительности.

### **Выводы**

На основе анализа соотношения плотностей расплавов алюминия и электролита в процессе электролитического получения алюминия получена зависимость оптимального уровня расплава алюминия от изменения технологических характеристик процесса электролиза. Показана возможность автоматизации процесса, при учете колебаний уровней расплава, с обеспечением максимальной производительности процесса.

**Список литературы:** 1. *Бегунов, А. И.* Макрокинетика потерь металла в алюминиевых электролизерах [Текст] : монография / *А. И. Бегунов, С. Д. Цымбалов.* – СПб. : Наука, 1994. – 76 с. – 500 экз. – Библиогр.: с. 72-75. – ISBN 5-02-024796-0. 2. Patents 6065867 US, Int. Cl.<sup>7</sup> G 01 K 13/00, G 01 F 23/24, C 25 C 3/14. Method and Device for Measuring the Temperature and the Level of the Molten Electrolysis Bath in Cells for Aluminum Production [Электронный ресурс] / Benoit Sulmont, Cambery; Pierre Homsy, Saint-Jean-de-Maurienne; Oliver Granacher, Hermillon. Assignee: Aluminium Pechiney, Courbevoire, France/ - Appl. No.: 08/570,496 ; Filed: Dec. 11, 1995 ; Date of Patent: May 23, 2000. – Режим доступа [http://www.patentlens.net/imageserver/getimage/ US\\_6065867.pdf?id=1575581&page=all](http://www.patentlens.net/imageserver/getimage/ US_6065867.pdf?id=1575581&page=all). – выборка 01.08.12. 3. Пат. 2299932 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> C 25 C 3/20. Способ контроля производительности электролизных ванн [Электронный ресурс] / *Радионон М. А., Громыко А. И.* ; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Красноярский государственный технический университет (КГТУ). - № 2005136317/02. ; заявл. 22.11.05 ; опубли. 27.05.07. Режим доступа <http://www.findpatent.ru/patent/229/2299932.html>. - выборка 01.08.12. 4. *Галевский, Г. В.* Металлургия вторичного алюминия [Текст] : учебное пособие для вузов / *Г. В. Галевский, Н. М. Кулагин, М. Я. Минцис.* – Новосибирск: Наука. Сибирское предприятие РАН, 1998. – 289 с. – 200 экз. – Библиогр.: с. 285-286. – ISBN 5-02-031403-X. 5. *Троицкий, И. А.* Металлургия алюминия [Текст] : учебное пособие для техникумов / *И. А. Троицкий, В. А. Железнов.* – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Металлургия, 1984. – 400 с. – Библиогр.: с. 396. – Предмет. указ.: с. 396-398. – 6800 экз. 6. *Solheim, A.* The Density of Molten NaF-LiF-AlF<sub>3</sub>-CaF<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in Aluminium Electrolysis [Текст] : Aluminum Transactions, 2000. – Vol. 2. – No. 1. – P. 161-168.

---

УДК 661.931

**Визначення технологічних характеристик процесу електролітичного отримання алюмінію/ І. Ф. Червоний, Г. І. Щербань, І. Є. Лукошніков, Д. В. Прутцьков// Вісник**

НТУ «ХПІ». Серія «Нові рішення в сучасних технологіях». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2012. - № 50(956). С. 154-158

На основі аналізу співвідношення щільності розплавів алюмінію і електроліту в процесі електролітичного отримання алюмінію отримана залежність оптимального рівня розплаву алюмінію від зміни технологічних характеристик процесу електролізу. Показана можливість автоматизації процесу, при обліку коливань рівнів розплаву, із забезпеченням максимальної продуктивності процесу. Іл.: 2. Бібліогр.: 6 назв.

**Ключові слова:** алюміній, глинозем, електролізер, оптимізація, контроль, міжполюсна відстань.

UDK 661.931

**Determination of technological descriptions of process electrowinning of aluminium/ I. Chervony, G. Shcherbanj, I. Lukoshnikov, D. Prutskov//** Bulletin of NTU “KhPI”. Subject issue: New desicions of modern technologies. – Kharkov: NTU “KhPI”. – 2012. - № 50(956). P. 154-158

On the basis of analysis of correlation of closeness of fusions of aluminum and electrolyte in the process of electro winning of aluminum the got dependence of optimal level of fusion of aluminum on the change of technological descriptions of process of electrolysis. Shown possibility of automation of process, at the account of vibrations of levels of fusion, with providing of burst performance of process. Im.: 2: Bibliogr.: 6

**Keywords:** aluminum, alumina, electrolyzed, optimization, control, interplay distance.

*Надійшла до редакції 10.09.2012*