

УДК 621.746.58.001.57

ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ КРИОЛИТОВОГО РАСПЛАВА В АЛЮМИНИЕВЫХ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРАХ

© 2014 г. **В.Ю. Бажин, А.В. Бойков, А.В. Смань, П.В. Иванов**

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», г. Санкт-Петербург

Статья поступила в редакцию 14.02.14 г., доработана 11.03.14 г., подписана в печать 13.03.14 г.

Проведено исследование состояния поверхности криолит-глиноземного расплава алюминиевого электролизера с помощью промышленной цветной камеры acA640-120gc фирмы «Basler» (Германия) и разработанного программного пакета СИА КГР (система измерительная автоматизированная для криолит-глиноземного расплава). Получена зависимость изменения интегральной яркости электролита при различной концентрации глинозема. Определена скорость роста и выявлены особенности формирования корки на поверхности расплава с различным криолитовым отношением.

Ключевые слова: алюминиевый электролизер, криолит-глиноземный расплав, оптико-электронный контроль, криолитовое отношение, промышленные камеры, техническое зрение.

The surface state of the cryolite–alumina melt of the aluminum electrolyzer is investigated using an acA640-120gc industrial color camera (Basler, Germany) and developed AMS CAM (automated measurement system for cryolite–alumina melt) software package. The dependence of varying the total brightness at various alumina concentrations is found. The growth rate is determined and features of formation of a crust on the melt surface with various cryolite ratios are revealed.

Keywords: aluminum electrolyzer, cryolite–alumina melt, optoelectronic monitoring, bath ratio, industrial cameras, technical vision.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в ходе электролитического производства алюминия некоторые технологические параметры контролируются при помощи переносных приборов или методами рентгенофлуоресцентного анализа после отбора проб электролита из электролизера [1]. После получения результатов проб отбора электролита и замера температур осуществляется корректировка дозирования глинозема и фтористых солей через системы автоматического питания глиноземом (АПГ) [2]. При этом некоторое время электролизер может находиться в разбалансированном состоянии, что неизбежно приводит к снижению выхода по току, потерям сырья и электроэнергии.

Высокая химическая агрессивность криолит-глиноземного расплава не позволяет организовать постоянный контроль температуры, концентрации

оксида алюминия и криолитового отношения в электролите [3]. Решение этой проблемы позволит значительно облегчить управление процессом электролитического получения алюминия и повысить технико-экономические показатели.

В 2011 г. компания «Alcoa» (США) представила современный измерительный комплекс, позволяющий контролировать химический состав, температуру и перегрев электролита и при этом передавать данные замеров по беспроводному соединению [4, 5]. Однако такое устройство не является полностью автоматическим, и отбор проб осуществляется обслуживающим персоналом, что не исключает полностью влияние человеческого фактора.

Целью работы является установление принципиальной возможности мониторинга состояния элект-

Бажин В.Ю. – докт. техн. наук, профессор кафедры металлургии НМСУ «Горный» (199/106, г. Санкт-Петербург, В.О., 21-я линия, 2). E-mail: bazhin-alfoil@mail.ru.

Смань А.В. – аспирант той же кафедры. E-mail: anton-sman@yandex.ru.

Бойков А.В. – аспирант кафедры автоматизации технологических процессов и производств НМСУ «Горный». E-mail: boikov_av@mail.ru.

Иванов П.В. – канд. техн. наук, доцент той же кафедры E-mail: sckript@gmail.com.

тролита с использованием оптико-электронного метода контроля открытой поверхности криолитового расплава во время технологических операций (пробивка корки, слив металла, замена анода).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В лабораторных условиях, близких к производственным, при помощи промышленной цветной камеры асА640-120gc фирмы «Basler» (Германия) и разработанного авторами программного пакета СИА КГР (система измерительная автоматизированная для криолит-глиноземного расплава) регистрировали изменение яркости (Y') электролита при различных технологических условиях. В качестве источника информации выступали полутоновые изображения с глубиной цвета 8 бит. По значению яркости (интенсивности) [6] — безразмерной физической величины, характеризующей оттенок серого в диапазоне от 0 до 255, — фиксировали скорость образования криолит-глиноземной корки на поверхности расплава.

Опыты проводили в шахтной печи ЭПЛ-3 (ЗАО «Накал—Промышленные печи», г. Солнечногорск). В углеграфитовых тиглях при температуре 950—960 °С расплавляли заранее подготовленный дробленый электролит с известным химическим составом. Изменение температуры расплава контролировали хромель-алюмелевой термопарой. При помощи трубки-питателя на поверхность расплава добавляли порции (по 5 г) глинозема (песочный тип марки Г00) через каждые 4 мин, изменяя его концентрацию от 0,5 до 6,0 мас.%. При помощи камеры, установленной в защитном кожухе на расстоянии 800 мм, проводили съемку и мониторинг изменения состояния поверхности для различных составов электролита. В каждом случае на дне тигля находилось около 30 г жидкого алюминия, который выполнял функцию отражателя для более четкой фиксации яркости. Отобранные из тигля пробы замораживали и определяли их химический состав при помощи рентгенофлуоресцентного анализа на приборе «Дифрей-402» (ЗАО «Научные приборы», г. Санкт-Петербург).

В ходе исследования замеры яркости электролита при заданной температуре 950—960 °С и криолитовом отношении $КО = 2,2 \div 2,7$ проводились сразу в 3 тиглях, размещенных на подине печи, с целью минимизации влияния внешних факторов на яркость расплава.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Известно [7], что при изменении состава электролита варьируется его цвет — от ярко-желтого для щелочных расплавов ($КО \geq 2,7$) до темно-бордового у кислых ($КО = 2,2 \div 2,5$). На первом этапе была сформирована калибровочная база для различных значений $КО$ при фиксированных величинах содержания глинозема ($C_{Al_2O_3}$) и температуры расплава. На рис. 1 показано состояние поверхности расплава в зависимости от криолитового отношения.

Сущность оптико-электронного метода заключается в анализе видеоряда, получаемого с промышленной камеры в заданный промежуток времени. В ходе анализа выделялись области открытого электролита на изображении с последующим расчетом усредненного значения Y' на основе математических и программных алгоритмов [6, 8].

В результате для каждой области расплава было проанализировано более 50 тыс. точек. Экспериментальные значения Y' для расплава с различным $КО$ были аппроксимированы и получена линейная зависимость (рис. 2), что дает возможность определить криолитовое отношение по яркости электролита.

Величина достоверности линейной аппроксимации составляет $R^2 = 0,99014$, что с учетом количества проанализированных точек позволяет судить об адекватности результатов. Полученные зависимости были сведены в калибровочную таблицу, входящую в состав программного пакета СИА КГР.

Вместе с изучением влияния яркости на криолитовое отношение проводили наблюдение за состоя-

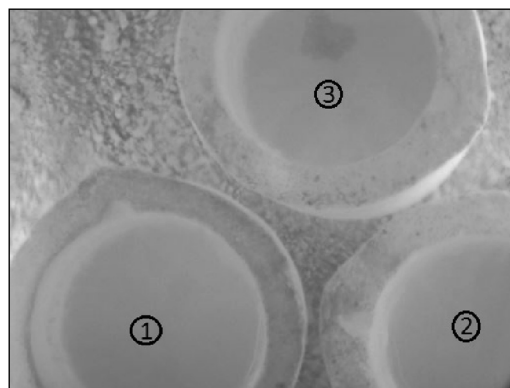


Рис. 1. Состояние поверхности электролита в зависимости от значения криолитового отношения
1 — $КО = 2,2$, 2 — $2,4$ и 3 — $2,7$

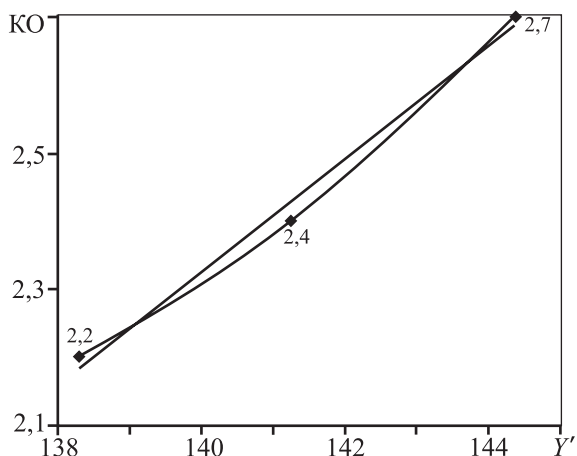


Рис. 2. Зависимость значения яркости электролита от криолитового отношения

Точки — экспериментальные данные
 Прямая линия — аппроксимирующая зависимость
 $y = 0,0825x - 9,2239, R^2 = 0,9901$



Рис. 3. Состояние поверхности расплава при КО = 2,2

1 — загрузка глинозема ($\tau = 0$ с),
 2 — растворение глинозема с его остатками на поверхности (45 с),
 3 — полное растворение порции глинозема (200 с)

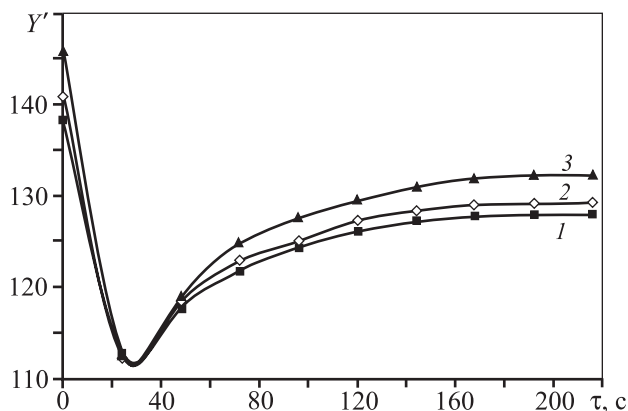


Рис. 4. Изменение яркости поверхности электролита во времени

1 — КО = 2,2, 2 — 2,4 и 3 — 2,7

нием поверхности расплава при загрузке глинозема с помощью питателя (рис. 3).

На рис. 4 показано изменение яркости поверхности при растворении глинозема для электролитов с различным КО. Видно, что после загрузки он некоторое время (25 с) находится на поверхности, и

при этом резко снижается яркость электролита. Это связано с тем, что глинозем загружался при комнатной температуре. Затем яркость расплава начинает постепенно возрастать, при этом электролит занимает все большую площадь поверхности тигля, а слой глинозема (толщина первичной корки) постепенно сокращается.

Также отмечается, что после каждого цикла загрузки и растворения глинозема происходит снижение значения Y' (рис. 5). Зарегистрированное при помощи камеры, оно изменяется в зависимости от концентрации в расплаве глинозема.

Полученные результаты можно условно разделить на 2 характерных временных участка:

- $\tau = 0 \div 750$ с — растворение глинозема в электролите;
- $\tau = 750 \div 2000$ с — формирование корки на его поверхности.

Скачок яркости (см. рис. 5) при КО = 2,2 в интервале $\tau = 750 \div 800$ с соответствует максимальному значению концентрации оксида алюминия в электролите ($C_{Al_2O_3} \sim 6\%$) и началу процессов кристаллизации из-за перенасыщения расплава [9], которые совпадают с началом формирования корки на его поверхности или с образованием первичного криолит-глиноземного осадка на дне тигля. Полученные результаты хорошо согласуются с расчетными и литературными данными [2], когда при уменьшении КО снижается растворимость глинозема. Схожие скачки яркости можно наблюдать и при криолитовом отношении, равном 2,4 ($\tau = 1200 \div 1350$ с) и 2,7 (1800—2000 с).

Анализируя изменение яркости электролита в течение всего эксперимента, можно заключить, что этот параметр снижается с ростом концентрации растворенного глинозема и достигает своего минимума в определенной точке (рис. 6). Далее происходит его увеличение, что соответствует процессу формирования корки. Необходимо отметить, что минимальные значения изменения цвета для электролитов с различным криолитовым отношением отличаются друг от друга после каждой загрузки глинозема (см. рис. 6). Так, например, для расплава с КО = 2,2 минимум соответствует $Y' = 119$, а для КО = 2,7 — $Y' = 112$.

Необходимо отметить, что для любого состава электролита яркость начинает изменяться при увеличении концентрации оксида алюминия. При достижении максимальной ее величины $C_{Al_2O_3} \approx 5 \div 6\%$ скорость растворения глинозема резко падает,

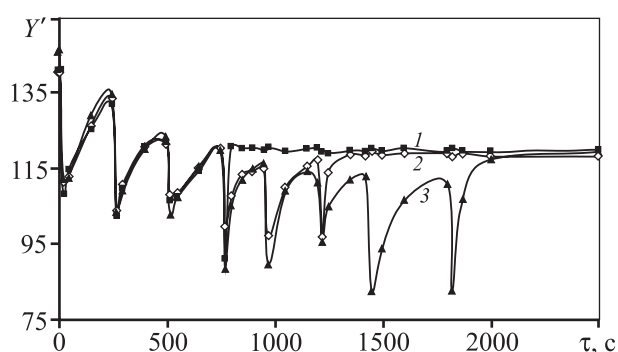


Рис. 5. Изменение яркости электролита во время каждой загрузки глинозема (8 порций)
1 – КО = 2,2, 2 – 2,4 и 3 – 2,7

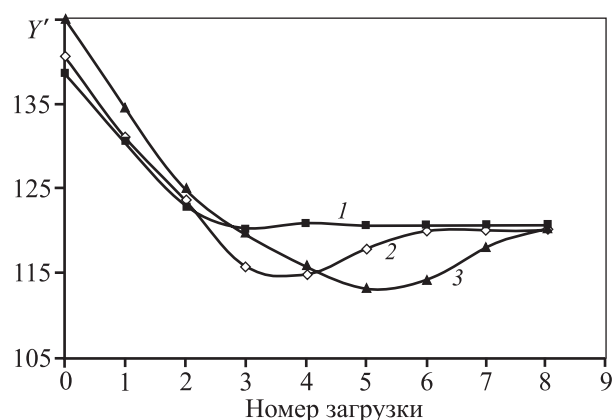


Рис. 6. Изменение яркости электролита после загрузки
1 – КО = 2,2, 2 – 2,4 и 3 – 2,7

а на поверхности расплава начинает формироваться корка электролита, что согласуется с результатами, полученными в работах [10, 11].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенного исследования:

- разработаны установка и методика опико-электронного мониторинга состояния криолит-глиноземного расплава;
- выявлен характер зависимости яркости электролита от его криолитового отношения;
- установлено влияние концентрации глинозема на яркость электролита;
- определена скорость образования криолит-

глиноземной корки при различном составе электролита (КО = 2,2÷2,7).

Таким образом, опико-электронный мониторинг криолитового расплава, проведенный в лабораторных условиях, показал, что существует возможность контролировать технологическую ситуацию по состоянию открытой поверхности электролита.

Решение задачи оперативного контроля технологической ситуации может быть использовано в условиях действующего производства. Например, во время замены анодов, когда появляется открытая поверхность электролита площадью более 1 м², можно зафиксировать яркость расплава и определить значения технологических параметров, сравнив их с калибровочной базой данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Галевский Г.В., Кулагин Н.М., Минцис М.Я., Сиразутдинов Г.А. *Металлургия алюминия. Технология, электроснабжение, автоматизация: Учеб. пос. для вузов. 3-е изд., перераб. и доп.* М.: Флинта, 2008.
2. Янко Э.А. *Производство алюминия: Пособие для мастеров и рабочих цехов электролиза алюминиевых заводов.* СПб.: Изд-во СПбУ, 2007.
3. Минцис М.Я., Поляков П.В., Сиразутдинов Г.А. *Электрометаллургия алюминия.* Новосибирск: Наука, 2001.
4. Wang X., Hosler B., Tarcy G. // *Light Metals*. 2011. С. 483.
5. Wang X., Tarcy G., Batista E., Wood G. // *Ibid*. С. 491.
6. Гонсалес Р., Вудс Р. *Цифровая обработка изображений.* М.: Техносфера, 2005.
7. Троицкий И.А., Железнов В.А. *Металлургия алюминия* М.: Metallurgy, 1984.
8. Визильтер Ю.В., Желтов С.Ю., Князь В.А. и др. *Обработка и анализ цифровых изображений с примерами на LabVIEW IMAQ Vision.* М.: ДМК Пресс, 2007.
9. Сизяков В.М., Бажин В.Ю., Власов А.А. // Матер. 17-й Междунар. конф. «Алюминий Сибири» (г. Красноярск, 7–9 сент. 2011 г.). Красноярск: Версо, 2011. С. 159.
10. Less L.N. // *Metal. Trans. B*. 1977. № 8. С. 219.
11. Борисоглебский Ю.В., Галевский Г.В., Кулагин Н.М., Минцис М.Я. *Металлургия алюминия.* Новосибирск: Наука, 2000.