

УДК 669.713

## Роль аналитических методов в металлургии алюминия

© А.А. Володькина

*Иркутский национальный исследовательский технический университет,  
г. Иркутск, Российская Федерация*

**Аннотация.** Производство алюминия электролитическим способом является основным промышленным методом его получения. На всех стадиях технологии необходим контроль химического состава исходного сырья, проб электролита (криолит-глиноземного расплава), готовой продукции. В связи с этим возрастает важность применения высокоинформативных современных методов анализа химического состава. В статье показана роль спектрального анализа образцов первичного алюминия и рентгеноспектрального анализа проб электролита при производстве алюминия. Исследования проведены на примере материалов и продукции ПАО «РУСАЛ Братск» (г. Братск, Иркутская область).

**Ключевые слова:** производство алюминия, спектральный анализ, рентгеноспектральный анализ, криолитовое отношение, химический состав

## The Role of Analytical Methods in Aluminum Metallurgy

© Anna A. Volodkina

*Irkutsk National Research Technical University,  
Irkutsk, Russian Federation*

**Abstract.** Electrolytic aluminum production is the main industrial method for its production. At all stages of the technology, it is necessary to control the chemical composition of the feedstock, electrolyte samples (alumina-cryolite melt), and finished products. In this regard, the importance of using highly informative modern methods of chemical composition analysis is increasing. The article shows the role of spectral analysis of primary aluminum samples and X-ray spectral analysis of electrolyte samples in aluminum production. The research was carried out in the case of materials and products of PJSC RUSAL Bratsk (Bratsk, Irkutsk Region).

**Keywords:** aluminum production, spectral analysis, X-ray spectral analysis, cryolite ratio, chemical composition

Металлургическая отрасль является одной из важнейших отраслей промышленности для современного мира, в том числе и для России [1]. Одно из лидирующих мест по потреблению среди цветных металлов занимает алюминий. В настоящее время алюминиевая промышленность является наиболее крупной отраслью цветной металлургии и имеет главенствующее положение в отрасли. Для удовлетворения потребности в алюминии на данный момент единственным промышленным способом с высокими показателями получения металла является электролиз криолит-глиноземных расплавов<sup>1</sup> [2]. Объем производства алюминия намного опережает выпуск всех остальных цветных металлов, уступает лишь производству стали. Производство алюминия постоянно развивается за счет решения проблем по энергосбережению, по переработке техногенного сырья и расширению сырьевой базы для получения глинозема [3–8].

Потребность человечества в алюминии с каждым годом увеличивается. Благодаря его химическим и физическим свойствам алюминий используется практически во всех сферах жизнедеятельности современного человека. Высокие темпы прироста производства алюминия обусловлены его уникальными физико-химическими свойствами (легкость, электропроводность, высокая коррозионная стойкость), благодаря которым он нашел широкое применение в электротехнике, авиастроении, транспорте, фармацевтике, производстве тары и бытовой техники, автомобилестроении, строительстве и других отраслях [9, 10].

Криолитовое отношение (КО) электролита (молярное отношение фторида натрия к фториду алюминия) является одним из основных технологических показателей процесса электролиза. На БРАЗе значение КО поддерживают в пределах 2,2–2,4, что позволяет снижать температуру, плотность электролита и обратную растворимость полученного алюминия, следовательно, повышать выход по току.

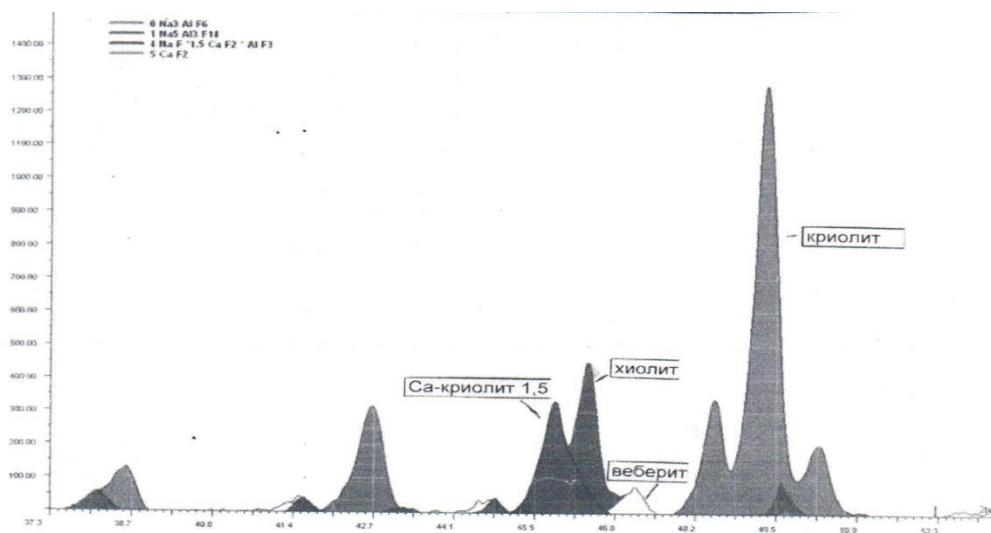
Значение КО пробы электролита на ПАО «РУСАЛ Братск» находят с помощью

<sup>1</sup> Борисоглебский Ю.В., Галевский Г.В., Кулагин Н.М., Минцис М.Я., Сиразутдинов Г.А. Металлургия алюминия: учеб. пособие. Новосибирск: Наука, 1999. 438 с.

рентгеноспектрального анализа. Для этого требуется дифрактометр для определения составляющих пробу фаз и монохроматор для осуществления количественного определения фторидов кальция и магния. При взаимодействии кристаллического вещества с рентгеновским излучением по-

лучается дифракционная картина, то есть рентгенограмма (рис. 1).

В Центральной заводской лаборатории (ЦЗЛ) ПАО «РУСАЛ Братск» РСА проб электролита (рис. 2) для определения КО проводится с использованием спектрометра рентгенофлуоресцентного модели GNR Explorer (Италия).



**Рис. 1. Дифрактограмма пробы электролита**



**Рис. 2. Спрессованные анализируемые пробы электролита**

Данный метод анализа проб электролита основан на испускании характеристического излучения атомами при взаимодействии рентгеновского излучения<sup>2</sup>.

Из-за поглощения части или всей энергии атомом происходит перемещение электронов (рис. 3).

<sup>2</sup> Пирогов А.В., Малехонова Н.В., Бобров А.И., Кривулин Н.О., Павлов Д.А. Энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия: электронное учебно-методическое пособие. Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2014. 73 с.

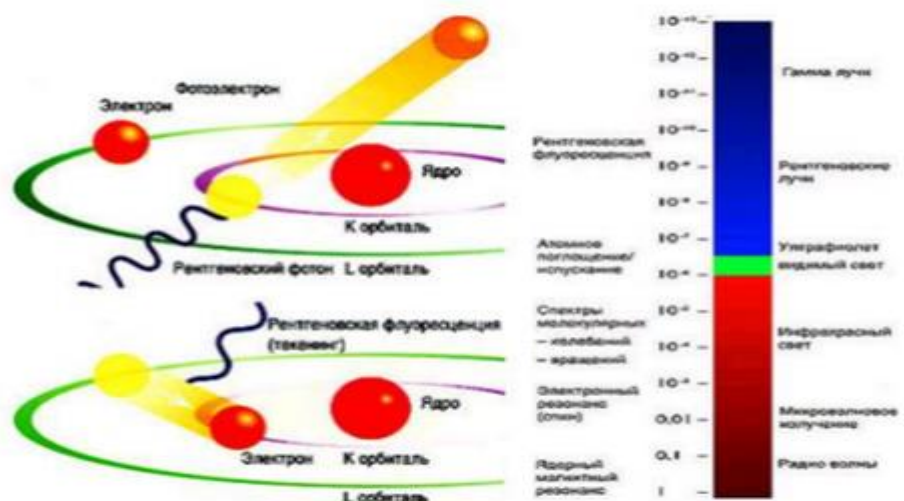


Рис. 3. Перемещение электронов при воздействии рентгеновского излучения

Состав продукции алюминиевых заводов зависит от предъявляемых потребителем требований к содержанию примесей. Для анализа химического состава, получаемого на предприятиях отрасли первичного алюминия, используется спектральный анализ (СА) (рис. 4). Данный метод, как и рентгеноспектральный, основан на испускании спектральных линий элементов, содержащихся в анализируемом образце. Однако в рентгеноспектральном методе анализа применяется рентгеновское излучение. В спектральном анализе возбуждение электронов происходит под действием искрового разряда. Разряд образуется между вспомогательным электродом и анализируемым образцом алюминия<sup>3</sup>. Пробы первичного алюминия анализируются на оптико-эмиссионном спектрометре ARL 4460 (США).

Для определения количества элементов-примесей в анализируемом образце используются градуировочные зависимости интенсивности эмиссионного излучения и содержания примеси в пробе.

Для построения градуировочных зависимостей применяют стандартные образцы с известным содержанием примесей. Количество стандартных образцов должно быть не менее трех образцов с содержанием примесей близким к содержанию в анализируемом материале. Построение графиков проводится в координатах  $\Delta S - \lg C$ , где  $\Delta S$  – разность линий определяемого элемента и элемента сравнения,  $C$  – известная массовая доля

определяемого элемента в стандартном образце<sup>4</sup>.

Железо и кремний являются основными примесями в алюминии. Железо наряду с электропроводностью снижает пластичность и коррозионную стойкость, повышает прочностные свойства алюминия. Наличие железа в сплавах алюминия с кремнием и магнием отрицательно сказывается на свойствах сплава. Только в тех сплавах алюминия, где присутствует никель, железо считается полезной примесью. С увеличением содержания кремния коэффициент термического расширения сплава, как и его плотность, уменьшается. Кремний повышает износостойкость алюминиевого сплава [11]. Требования к содержанию кремния и железа, предъявляемые к маркам первичного алюминия, полученного путем электролиза, описаны в ГОСТ 11069-2001<sup>5</sup>.

У каждого вещества имеется своя, присущая именно этому веществу дифракционная картина, которая не имеет зависимости от присутствия в нем других веществ. Идеальным методом идентификации и исследования поликристаллических фаз является рентгеновский дифракционный метод анализа. Для обнаружения и определения количества веществ на магнитных носителях собрано огромное количество стандартных спектров. Чтобы определить количественное содержание

<sup>3</sup> Дробышев А.И. Основы атомного спектрального анализа: учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГУ, 1997. 200 с.

<sup>4</sup> ГОСТ 7727-81. Сплавы алюминиевые. Методы спектрального анализа. Введ. 01.07.82. М.: Изд-во стандартов, 1981. 15 с.

<sup>5</sup> ГОСТ 11069-2001. Алюминий первичный. Марки. Введ. 01.01.2003. М.: Изд-во стандартов, 2001. 10 с.

фазы, необходимо рассчитать площадь дифракционных пиков.

Спектральный и рентгеноспектральный методы анализа являются неотъемлемой частью производства алю-

миния. РСА позволяет контролировать величину КО при электролизе криолит-глиноземных расплавов, что даёт возмож-



**Рис. 4. Анализируемые пробы первичного алюминия**

ность не допустить снижения выхода по току. Благодаря проведению СА производимый на предприятии алюминий удовлетворяет предъявляемым потребителями

требованиям к химическому составу товарного алюминия, полученного на ПАО «РУСАЛ Братск».

#### **Библиографический список**

1. Сизяков В.М., Власов А.А., Бажин В.Ю. Стратегические задачи металлургического комплекса России // Цветные металлы. 2016. № 1. С. 32–37.
2. Grjotheim K., Welch B. Aluminium Smelter Technology. Dusseldorf: Aluminium Verlag, 1993. 260 p.
3. Mann V., Buzunov V., Pitertsev N., Chesnyak V., Polyakov P. Reduction in Power Consumption at UC RUSAL's Smelters 2012–2014 // Light Metals. 2015. P. 757–762.
4. Зенкин Е.Ю., Гавриленко А.А., Немчинова Н.В. О переработке отходов производства первичного алюминия ОАО «РУСАЛ Братск» // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2017. Т. 21. № 3. С. 123–132.
5. Dubovikov O.A., Brichkin V.N., Ris A.D., Sundurov A.V. Thermochemical activation of hydrated aluminosilicates and its importance for alumina production // Non-ferrous Metals. 2018. № 2. P. 11–16.
6. Nemchinova N.V., Tyutrin A.A., Somov V.V. Study of Influence of Parameters of Leaching Fluorine from Spent Pot Lining // Materials Science Forum. 2019. Vol. 946. P. 552–557.
7. Немчинова Н.В., Радионов Е.Ю., Сомов В.В. Исследование влияния формы рабочего пространства на МГД-параметры работы электролизера производства алюминия // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2019. Т. 23. № 1. С. 169–178.
8. Немчинова Н.В., Тютрин А.А., Бараускас А.А. Анализ химического состава техногенных материалов производства первичного алюминия для поиска рациональных методов их переработки // Цветные металлы. 2019. № 12. С. 22–29.
9. Фридляндер И.Н., Чуистов К.В., Березина А.Л., Колобнев Н.Н. Алюминий-литиевые сплавы. Структура и свойства. Киев: Наукова думка, 1992. 192 с.
10. Мондельфо Л.Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов / пер. с англ. Г.Б. Строганова, Ф.И. Квасова, И.Н. Фридляндера. М.: Металлургия, 1979. 640 с.
11. Побежимов П.П., Нефедова Л.П., Белов Е.В. Металлургия коррозионностойких алюминиевых сплавов и отливок. М.: Металлургия, 1989. 150 с.

#### **Сведения об авторе / Information about the Author**

**Володькина Анна Александровна**, магистрант, Институт высоких технологий, Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Российская Федерация, e-mail: vo1odkinaa@yandex.ru

**Anna A. Volodkina**, Undergraduate, Institute of High Technologies, Irkutsk National Research Technical University, 83 Lermontov Str., Irkutsk, 664074, Russian Federation, e-mail: vo1odkinaa@yandex.ru