



Столыпинский
вестник

Научная статья

Original article

УДК 620.179.1

**УЛУЧШЕНИЕ СВОЙСТВ ОБОЖЖЕННЫХ АНОДОВ
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ
IMPROVEMENT OF PROPERTIES OF BAKED ANODES USING NON-
DESTRUCTIVE CONTROL METHOD**

Лепп Иван Иванович, магистрант, Сибирский Федеральный Университет, Институт цветных металлов и материаловедения, г. Красноярск, e-mail: leppivan@gmail.com

Храменко Сергей Андреевич, научный руководитель, кандидат технических наук, доцент кафедры цветных металлов и материаловедения, Сибирский Федеральный Университет, Институт цветных металлов и материаловедения г. Красноярск

Ivan I. Lepp, master student, Siberian Federal University, Institute of non-ferrous metals and materials science, Krasnoyarsk, e-mail: leppivan@gmail.com

Sergey A. Khramenko, Scientific Supervisor, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Non-Ferrous Metals and Materials Science, Siberian Federal University, Institute of Non-Ferrous Metals and Materials Science, Krasnoyarsk

Аннотация. В данной статье рассматривается проблема управления качеством обожженных анодных блоков в промышленных условиях.

Описан способ возможного управления качеством обожженных анодов посредством применения ультразвукового метода.

В случае применения данного способа под «управлением качеством» подразумевается широкий спектр направлений:

1. Управление процессами производства обожженных анодных блоков, начиная от возможности управления качеством прокаленного материала, подбора гранулометрического состава шихты, режимов формования до получения однородной внутренней структуры анодных блоков, соответственно и физико-химико-механических показателей.

2. Комплектация анодных блоков для размещения в электролизер.

Annotation. This article deals with the problem of quality control of baked anode blocks in industrial conditions.

A method is described for possible control of the quality of baked anodes through the use of an ultrasonic method.

In the case of applying this method, “quality management” means a wide range of areas:

1. Management of the production processes of baked anode blocks, starting from the possibility of controlling the quality of the calcined material, selecting the particle size distribution of the charge, molding modes to obtaining a homogeneous internal structure of the anode blocks, respectively, and physical, chemical and mechanical indicators.

2. Complete set of anode blocks for placement in the electrolyzer.

Ключевые слова: анодный блок, неразрушающий контроль, качество, внутренняя структура, ультразвуковой метод.

Key words: anode block, non-destructive testing, quality, internal structure, ultrasonic method.

Выбор неразрушающих методов контроля качества анодных блоков вызван необходимостью контроля каждого блока, что актуально в условиях

неоднородности свойств изделий и невозможностью испытания каждого блока на качественные показатели. Важно помнить, что выход из строя хотя бы одного блока приводит к нарушению процесса электролиза и увеличению затрат на выпуск 1 тонны алюминия.

Способы применения неразрушающего контроля качества анодных блоков являются темой актуальной уже довольно долгое время, например, в [1] описан акустический метод контроля по длине звукового индекса.

Ультразвуковой метод позволяет обнаруживать скрытые дефекты в материале анодных блоков и эффективно применяется при оценке свойств материалов по отдельным прессовым партиям. В прессовой партии могут присутствовать блоки с различными значениями времени распространения ультразвука (УЗК). Поэтому контроль анодных блоков по УЗК и параметру неоднородности позволяет проводить комплектацию блоков по категориям обеспечивая стабильность электролизера, и повышая тем самым его эффективность, заключающуюся в снижении расхода анода на выпуск 1 тонны алюминия.

Дефекты материала блока на пути ультразвукового импульса задерживают его прохождение через поперечное сечение блока за счет их поглощения на границах раздела. Наличие дефекта в материале анодного блока может быть обнаружено по увеличению времени прохождения ультразвука, например, как показано на опыте, полученном при проведении испытаний:

1 категория с границей допуска 260-275 мкс – означает полное отсутствие дефектов внутренней структуры;

2 категория с границей допуска 276-295 мкс – означает наличие дефектов малого размера (до 0,3 мм) в виде пустот или структурных трещин, не оказывающих влияния на однородность внутренней структуры;

3 категория с границей допуска 296-320 мкс – означает наличие дефектов с верхней границей допустимого размера (0,4-1,0 мм);

Обожженные аноды со скоростью прохождения ультразвуковой волны более 320 мкс являются браком окончательным и показывают однозначное

нарушение однородности внутренней структуры блока в виде локальных пустот, непромесов, трещин и т.д.

Для определения времени прохождения ультразвука через анодный блок используется портативный (переносной) ультразвуковой прибор марки УК-14ПМ.

Основные технические характеристики

Диапазон измерения времени распространения УЗК 20...8800 мкс.

Диапазон измерения длительности фронта первого вступления принятого сигнала 3...30 мкс.

Абсолютная чувствительность прибора не менее 110 дБ.

Амплитуда импульсов генератора УЗК 320 ± 50 В.

Питание:

- от гальванических элементов: прибора 4,5 В;
- прозвучивающего устройства 3,0 В.

Габаритные размеры:

- прибора 55x135x175 мм;
- прозвучивающего устройства 400x155x100 мм.

Масса:

- прибора 1,3 кг;
- прозвучивающего устройства 1,0 кг.

Принцип работы

Косвенной характеристикой однородности является время прохождения импульса через материал анодного блока.

Ультразвуковой импульсный метод по ДСТУ Б В.2.7-226:2009 относится к физическим неразрушающим методам исследования строительных конструкций, зданий и сооружений.

После установки щупов с двух сторон на испытуемое изделие и включения прибора генератор посылает импульсы в излучатель, в котором пьезоэлемент преобразует электрические импульсы в механические ультразвуковые волны.

Пройдя через анодный блок, волны попадают в приемник, где снова преобразуются в электрические импульсы и направляются через усилитель в индикатор, в котором измеряется время прохождения волн. Индикатор снабжен автоматическим устройством, передающим на экран прибора цифровую информацию в микросекундах.

Устройство прибора

В корпусе смонтированы генератор импульсов, усилитель и индикатор. Щуп-излучатель механических колебаний (волн) ультразвуковой частоты и щуп-приемник соединяются с корпусом гибкими кабелями.

Особенность применения данного прибора при определении времени прохождения ультразвука через анодный блок заключается в размещении излучателя и приемника на штанге длиной равной ширине анодного блока, длина которой равна ширине анодного блока.

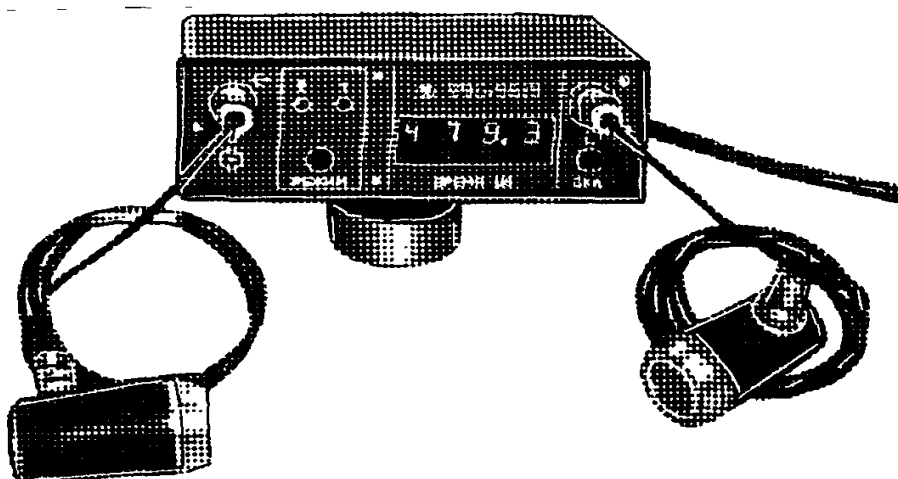


Рисунок 2. Общий вид импульсного ультразвукового прибора УК-14П

Время распространения ультразвука измеряется в направлении, перпендикулярном продольной оси блока, по ширине, способом сквозного

прозвучивания при соосном расположении приемного и излучающего датчиков в диаметрально противоположных точках. Точки прозвучивания должны быть равномерно расположены по длине блока на одном уровне, равном половине высоты блока.

Среднее время распространения ультразвука (τ_0 , мкс) вычисляют по формуле:

$$\tau_0 = \frac{\tau_1 + \tau_2 + \tau_3}{N},$$

где τ_0 – среднее время распространения ультразвука в блоке,

τ_1, τ_2, τ_3 – время распространения ультразвука в точках прозвучивания,

N – число точек прозвучивания.

Параметр неоднородности (H , %), характеризующий внутреннюю структуру материала блока рассчитывается по формуле:

$$H = (\tau_{\max} / \tau_{\min} - 1) \times 100 \%,$$

где τ_{\max}, τ_{\min} – максимальное и минимальное значения времени прохождения ультразвука в материале одного подового блока.

При проведении измерений устанавливаются требования по значению времени распространения ультразвукового импульса (УЗК, мкс) и параметра неоднородности (H , %).

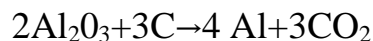
При освоение промышленной технологии изготовления анодных блоков, на период опытных работ, установлены время прохождения ультразвукового импульса через материал блока в пределах 260-320 мкс и параметр неоднородности не более 10%.

Проведены широкомасштабные лабораторные исследования и выпущено 16 опытно-промышленных прессовых партий блоков по различным рецептурам.

По результатам исследований и выпуска опытно-промышленных прессовых партий анодных блоков разработаны оптимальные технологические параметры и рецептурные составы для выпуска блоков, требуемого качества.

Для стабильной работы электролизера анодные блоки должны иметь не только требуемые физико-химико-механические свойства, но и быть достаточно однородными.

Электрохимический расход углерода согласно уравнению (1) составляет 333 кг/тAl [2]



Существующий избыточный расход в основном определяется потерями углерода в реакциях окисления анода кислородом воздуха и углекислым газом. Всего на производство 1 т алюминия в зависимости от технологии расходуется от 410 до 530 кг углерода [3].

К свойствам анодов предъявляются следующие требования [4]:

- высокая электропроводность для снижения энергопотребления;
- достаточная механическая прочность, обеспечивающая целостность анода и проведение технологических операций;
- низкая реакционная способность к углекислому газу и воздуху, уменьшающая избыточный расход углерода.

Результаты проведенных исследований показали возможность последовательного выбора направлений совершенствования технологических процессов изготовления анодных блоков с широким диапазоном физико-механических свойств.

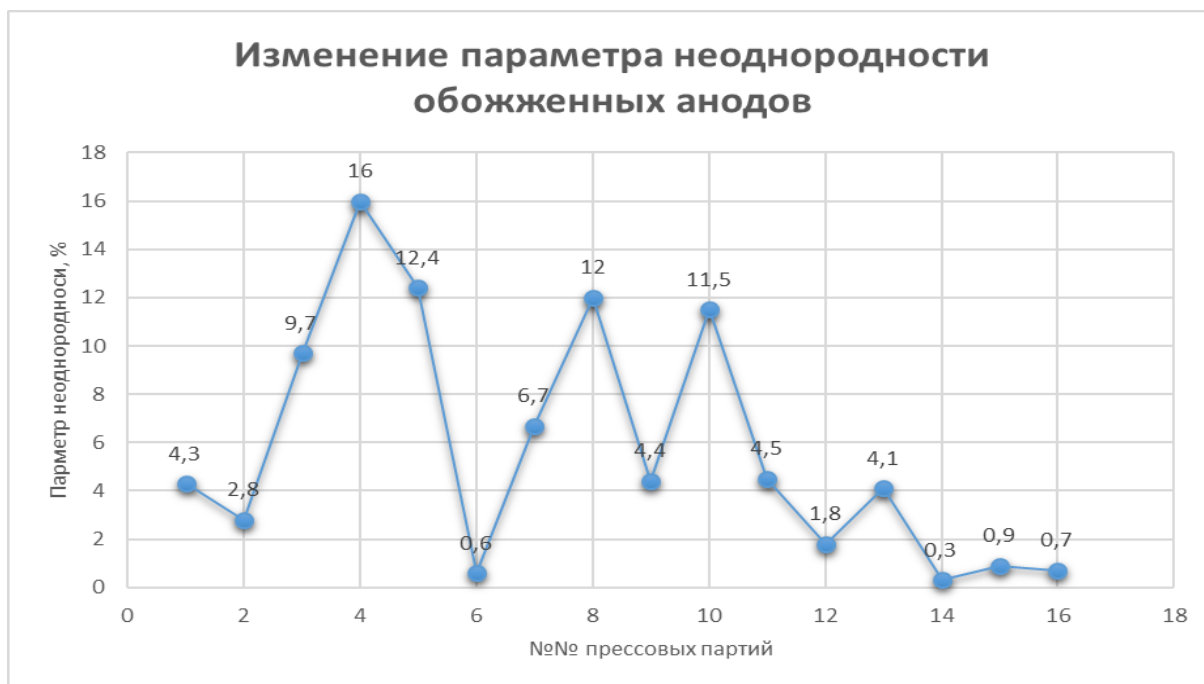
На обожженных анодах опытных партий были достигнуты следующие результаты:

- снижение удельного электросопротивления,
- снижение реакционной способности к углекислому газу и воздуху,
- увеличения кажущейся плотности «зеленых»/обожженных анодов,
- снижение воздухопроницаемости обожженных анодов.

Чем выше параметр неоднородности, тем ниже однородность структуры, в ней преобладают структурные трещины и пустоты.

Далее на графике представлена тенденция изменения параметра неоднородности на анодных блоках по мере отработки технологии производства и повышения однородности внутренней структуры.

График 1 Изменение параметра неоднородности обожженных анодов



Стопроцентный контроль анодных блоков с целью определения времени распространения ультразвука и параметра неоднородности каждого блока по разработанной методике определения времени прохождения ультразвука и параметра неоднородности на заготовках анодных блоков позволяет в перспективе осуществлять мероприятия по формированию однородных по внутренней структуре комплектов анодных блоков для установки в электролизер.

В период проведения экспериментальной работы, предварительно определены категории блоков по значениям времени распространения ультразвука:

- 1 категория** - 260-275 мкс,
- 2 категория** – 276-295 мкс,
- 3 категория** – 296-320 мкс

На графике 2 представлено распределение анодных блоков по категориям в объеме одной партии:



График 2 позволяет оценить однородность выпущенной партии по звуковому индексу. На графике видно, что большое количество анодных блоков сдвинуто в сторону 3-й категории, что говорит о наличии проблем в технологии. Улучшение качества анодных блоков потребует проведения технологических и организационных мероприятий, эффективность которых может быть оценена с помощью ультразвукового метода.

Цель любого алюминиевого завода – повышение производительности электролизера и выхода по току, сокращение расхода электроэнергии и углерода.

Снижение расхода углерода достигается в результате повышения качественных характеристик, обожженных анодов, за счёт:

- высокой электропроводности и плотности;
- высокой механической прочности;
- и химической стойкости при температуре электролиза.

С 60-х годов избыточный расход углерода снизился более, чем на 60 кг С/т Al, что дало экономию анодных материалов около 1,2 млн. тонн в год.

Переход алюминиевой промышленности на высокоамперные технологии требует повышение качества обожжённых анодов, что может быть обеспечено, в том числе, применением ультразвуковой диагностики.

Выводы

1. Показано, что применение ультразвукового контроля внутренней структуры позволяет пройти ещё один этап в повышении качества анодных блоков и достичь ещё большего сокращения расхода углерода.

2. Существование мало затратного способа проведения оперативной оценки качества внутренней структуры обожженных анодов.

Литература

1. Коварская Е. З., Московенко И. Б., Потапов А. И., Шадрина М. С. Неразрушающий контроль физико-механических свойств и качества подовых блоков и обожженных анодов электролизеров, используемых при производстве алюминия // Новые огнеупоры. 2017. №3. С. 10
2. Твердохлебова В.П., Храменко С.А., Бурюкин Ф.А., Павлов И.В., Прошкин С.Е. Нефтяной кокс для алюминиевой промышленности. Технология и свойства // Журнал Сибирского Федерального Университета. 2010. №4. С 369-386
3. Grjotheim K., Welch B. Aluminium Smelter Technology//Aluminium-Verlag, Dusseldorf, 1988.
4. Meier M.W. Cracking Behaviour of Anodes.//PhD Thesis, Federal Institute of Technology (ETH), Ziirich, Switzerland, 1996.
5. Schmidt-Hatting, W. Optimization of the Anode Carbon Consumption with Respect to Butts Recycling / W. Schmidt-Hatting, A. Kooijman//Light Metals, 1993. – P.579–585.

References

1. Kovarskaya E. Z., Moskovenko I. B., Potapov A. I., Shadrina M. S. Non-destructive testing of physical and mechanical properties and quality of hearth blocks and baked anodes of electrolyzers used in aluminum production. 2017. №3. S. 10

2. Tverdokhlebova V.P., Khramenko S.A., Buryukin F.A., Pavlov I.V., Proshkin S.E. Petroleum coke for the aluminum industry. Technology and properties // Journal of the Siberian Federal University. 2010. No. 4. С 369-386
3. Grjotheim K., Welch B. Aluminum Smelter Technology//Aluminium-Verlag, Dusseldorf, 1988.
4. Meier M.W. Cracking Behavior of Anodes.//PhD Thesis, Federal Institute of Technology (ETH), Ziirich, Switzerland, 1996.
5. Schmidt-Hatting, W. Optimization of the Anode Carbon Consumption with Respect to Butts Recycling / W. Schmidt-Hatting, A. Kooijman//Light Metals, 1993. – P.579–585.

© Лепп И. И., Храменко С. А. 2022 Научный сетевой журнал «Столыпинский вестник» №9/2022.

Для цитирования: Лепп И. И., Храменко С. А. УЛУЧШЕНИЕ СВОЙСТВ ОБОЖЖЕННЫХ АНОДОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ// Научный сетевой журнал «Столыпинский вестник» №9/2022.