

УДК 621.357.1

Исследование технологического процесса получения алюминия электролизом глинозема

Ермолаева В.А., Козлова Я.Ю.

Дана характеристика процесса производства алюминия путем электролиза глинозема с последующим применением электрического тока для очистки металла. Подробно охарактеризованы три стадии технологического процесса: получение глинозема из первичного сырья, получение алюминия из глинозема, очистка алюминия. Дана характеристика основного технологического оборудования (машины для проведения раздачи глинозема, установка газоочистки сухим методом, электролизер, вакуум-ковш). Произведена характеристика целевого продукта – алюминия, перечислены основные причины его широкого применения. Охарактеризовано исходное сырье – бокситы, их химический состав, способы добычи. Приведены контролируемые параметры оборудования (давление, мощность, температура). Охарактеризованы средства индивидуальной и коллективной защиты. Рассчитано выделение углекислого и угарного газов в час. Произведен практический расчет материального и теплового баланса. Рассчитана производительность электролизера.

Ключевые слова: производство алюминия, алюминий, электролиз, материальный и тепловой баланс.

Research of technological process of obtaining of aluminium by electrolysis of alumina

Ermolaeva V.A., Kozlova Y.Yu.

The characteristic of the process of aluminum manufacture by electrolysis of alumina, followed by application of electric current to clean metal is given. It describes in detail the three stages of technological process: production of alumina from raw materials, receiving of aluminium from alumina, purification of aluminium. The characteristic of the main technological equipment (machines for distribution of alumina, the installation of gas cleaning by a dry method, the cell is vacuum-bucket). Produced characteristics of the target product – aluminum, lists the main reasons for its widespread use. Characterized by the raw material – bauxite, their chemical composition, methods of production. Given the controlled parameters of the equipment (pressure, power, temperature). Characterized by means of individual and collective protection. Designed carbon dioxide and carbon monoxide gases per hour. Produced practical calculation of material and heat balance. The calculated performance of the electrolyzer.

Keywords: aluminium production, aluminium, electrolysis, material and heat balance.

Введение

Алюминий стоит на лидирующем месте среди самых распространённых металлов в земной коре, а также и самых ценных. Данный металл имеет ряд преимуществ, а это – низкая теплопроводность, устойчивость к воздействию коррозии, жароустойчивость, пластичность и долговечность, благодаря чему он востребован в любой сфере производства. Алюминий применяют для восстановления редких металлов из их оксидов или галогенидов, как компонент термита, смесей для алюмотермии.

Он зарегистрирован в качестве пищевой добавки E173 [1].

Характеристика исходного сырья и целевого продукта

Данная работа посвящена изучению производства алюминия. Дана характеристика процесса производства алюминия путем электролиза глинозема с последующим применением электрического тока для очистки металла.

Произведена характеристика целевого продукта, алюминия. Охарактеризовано исходное

сырье. Исходным сырьем являются бокситы. Боксит - это горная порода, состоящая, в основном, из оксида алюминия с примесью других минералов. Они часто содержат более 30 химических элементов.

Алюминиевая руда, или боксит, считается качественным, если в его состав входит около 50% оксида алюминия. Чаще бокситы добывают открытым способом – специальной техникой руду «срезают» слой за слоем с поверхности земли, после чего отправляют для последующей переработки. Однако, не всегда можно добыть бокситы с поверхности, есть места, где алюминиевая руда залегает очень глубоко, и для ее добычи приходится строить шахты – одна из самых глубоких шахт в мире «Черемуховская-Глубокая», находящаяся в России, на Урале, ее глубина составляет 1550 метров [2]. После того как добыты бокситы, необходимо их переработать в глинозем. Глинозем – это оксид алюминия Al_2O_3 , который представляет собой белый рассыпчатый порошок.

Основным и актуальным способом получения глинозема в мире является метод Байера, который был открыт более ста лет назад, но используется до сих пор – около 90% глинозема в мире производится именно таким образом. Этот способ весьма экономичен, но использовать его можно только при переработке высококачественных бокситов со сравнительно низким содержанием примесей – в первую очередь кремнезема.

Метод Байера основан на следующем: входящая в состав боксита, кристаллическая гидроокись алюминия растворяется при высокой температуре в растворе едкого натра ($NaOH$) высокой концентрации, а при понижении температуры и концентрации раствора вновь кристаллизуется. Посторонние вещества, которые входили в состав боксита, выпадают в осадок до того, как производится кристаллизация гидроокиси алюминия. Поэтому после растворения гидроокиси алюминия эти вещества легко

отделяются – они называются красным шламом.

Красный шлам - это густая масса красно-бурого цвета, которая состоит из соединений кремния, железа, титана и других элементов. Как считают многие специалисты, красный шлам не является отходом, так как он может служить сырьем для переработки. Также красный шлам может использоваться для производства чугуна, бетона, получения редкоземельных металлов.

Крупные частицы гидроокиси алюминия легко отделяются от раствора фильтрованием, их промывают водой, высушивают и кальцинируют – то есть нагревают для удаления воды. Так получают глинозем. Хотя у глинозема нет срока годности, но хранить его очень сложно, так как при малейшей возможности он активно впитывает влагу – поэтому предпочтительно как можно быстрее отправлять его на алюминиевое производство [3]. Для производства 1 т чистого алюминия нужно около двух тонн глинозема, который, в свою очередь, получают из примерно 4,5 т боксита.

Технологический процесс и оборудование

Рассмотрен и описан технологический процесс получения алюминия электролизом глинозема, состоящий из трех стадий. На первой получают глинозем (окись алюминия Al_2O_3) из первичного сырья, содержащие алюминий руды. Затем создают из получившегося глинозема алюминий со степенью очистки 99,5%, которой для определенных задач бывает недостаточно. Поэтому на последней стадии максимально очищают металл до 99,99 %. Основным технологическим оборудованием являются машины для проведения раздачи глинозема, установка газоочистки сухим методом, электролизер, вакуум-ковш.

Основным аппаратом для электролитического получения алюминия служит электролизер или алюминиевая ванна. Электролизный цех является сердцем алюминиевого завода и

не похож на цеха других металлургических предприятий, производящих, например, чугун или сталь. Он состоит из нескольких прямоугольных корпусов, протяженность которых зачастую превышает 1 км. Внутри электролизного цеха рядами установлены сотни электролизных ванн, которые последовательно подключены массивными проводами к электричеству. За сутки электролизер производит чуть больше 2 тонн алюминия. Емкость ванны заполняют криолитом, который расплавлен до 950 °С, при опускании электродов возникает цепь, и электрический ток проходит через расплав, разрушая там самым связь между алюминием и кислородом. Алюминий осаждается на дне ванны, образуя слой в 10-15 см, а кислород соединяется с углеродом, входящим в состав анодных блоков, и образует углекислый газ. Роль катода выполняет дно ванны, которая выложена огнеупорным кирпичом, а анода – погружаемые в криолит угольные блоки длиной около 1,5 метров и шириной 0,5 метра.

Каждые полчаса при помощи автоматической системы подачи глинозема в ванну загружается новая порция сырья. Превращение металла из глинозема занимает около суток. Алюминий получается тяжелее шлака, плавающего на поверхности, и когда в электролизере набирается 3 тонны металла, его сливают. Труба из вакуумного ковша опускается на дно ванны электролизера. Чтобы засосать металл, из ковша откачивают воздух, и перепад давления заставляет алюминий заливать внутрь. Теперь в этом ковше и находится то, что не могла создать природа, чистый алюминий в виде металла, а не в составе сложных минералов. В среднем, из одной ванны откачивается около 1 тонны металла, а в один ковш вмещается около 4 тонн расплавленного алюминия. Далее этот ковш отправляется в литейное производство, но для начала из алюминия необходимо удалить все лишние примеси [3].

Контроль производства и охрана труда

В производстве алюминия из глинозема контролируются:

- Сепаратор, где давление снижается от 3 МПа до атмосферного.
- Реакционный автоклав, где температура должна быть 250°С, а давление – $3 \cdot 10^6$ Па.
- Температура в трубчатой печи - 900°С.
- Мощность электролизера, определяемая подводимого к ней тока, изменяется от 30 кА у ванн малой мощности до 250 кА у ванн большой мощности. Внутри этих установок находится жидкий электролит, разогретый до 950°С.

Также не надо забывать, что производство алюминия не безвредно, поэтому для персонала должны применяться средства индивидуальной (СИЗ) и коллективной защиты. К СИЗ относится: спецодежда, спецобувь, рукавицы, каска, подшлемник, защитные очки, респиратор, предохранительный пояс, диэлектрические боты, перчатки, противозумные наушники.

К средствам коллективной защиты относятся:

- средства нормализации воздушной среды (система вентиляции);
- средства нормализации освещения;
- средства защиты от воздействия механических факторов (ограждения, защитные кожухи, сигнальные устройства, знаки безопасности);
- средства защиты от шума.

Расчет материального и теплового баланса

В ходе работы произвели практический расчет материального баланса. По следующим исходным данным: сила тока 168000 кА, анодная плотность тока 0,731 А/см², выход по току 83,5 %. Расход сырья на получение 1 кг алюминия получаем по практическим данным: глинозем 19,7 кг, фтористый алюминий 19,7 кг, фтористый кальций 1,3 кг, анодная масса 530 г.

Рассчитали производительность электролизера равную 47 кг и приход глинозема в электролизер, который составил 92,59 кг, фтористых солей – 0,99 кг и анодной массы 24,91 кг. Также было рассчитано выделение углекислого и угарного газов в час. Таким образом, приход и расход получились равными и составили 118,5 кг.

Сделан расчет теплового баланса производства. Рассчитан приход тепла от прохождения электрического тока, равный 2915136 кДж, и приход тепла от сгорания угольного анода, равный 458089 кДж. На разложение глинозема тепла расходуется 1521808 кДж. Потери тепла с выливаемым алюминием составили 64842,84 кДж, а унос тепла с газами 33989,76 кДж. Таким образом, приход и расход тепла в единицу времени при установившемся режиме электролизера становятся равными, и это говорит о том, что нормальная работа электролизера возможна.

Таким образом, в работе исследовали технологический процесс производства алюминия, основное технологическое оборудование, рассчитали материальный и тепловой балансы.

Заключение

На сегодняшний день невозможно представить жизнь без этого металла. Благодаря ряду преимуществ, а это - сравнительно низкий для металлов удельный вес, высокая коррозионная стойкость, легкость формования и обработки, способность к стопроцентной вторичной переработке (при этом экономия энергии 95%), огнестойкость, высокая электропроводность, стойкость к низким температурам, алюминий нашел широкое применение во множестве отраслей. Он является основой большинства конструкций в ведущих областях техники - в авиации, ракетах, атомной промышленности, применяется также в строительстве, преимущественно в виде сплавов алюминия с другими металлами, электротехнике (заменитель

меди при изготовлении кабелей и т.д.), пищевой промышленности (фольга), металлургии (легирующая добавка), алюмотермии.

Литература

1. Алюминий [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Алюминий>
2. Самая глубокая шахта в России. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://ribalych.ru/2015/07/22/samaya-glubokaya-shaxta-v-rossii/>
3. Производство алюминия. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.aluminiumleader.ru/production/how_aluminium_is_produced/
4. Калищук Д.Г. Процессы и аппараты химической технологии / Д. Г. Калищук, Н. П. Саевич, А. И. Вилькоцкий. – Минск: БГТУ, 2011. – 426 с.
5. Тимонин А. С. Основы конструирования и расчета химико-технологического и природоохранного оборудования: справочник: в 3 т. / А. С. Тимонин. – Калуга: Изд-во Н. Бочкаревой, 2002. – Т. 1. – 852 с.

References

1. Aluminum <https://en.wikipedia.org/wiki/Aluminium>.
2. Samaja glubokaja shahta v Rossii [The deepest mine in Russia] <https://ribalych.ru/2015/07/22/samaya-glubokaya-shaxta-v-rossii/>
3. Proizvodstvo aljuminija [Aluminum production] http://www.aluminiumleader.ru/production/how_aluminium_is_produced/.
4. Kalishhuk D.G. Processy i apparaty himicheskoy tehnologii [Processes and apparatus of chemical technology] / D. G. Kalishuk, N. P. Saevich, A. I. Vilkockij. – Minsk: BGTU, 2011. – 426 p.
5. Timonin A.S. Osnovy konstruirovaniya i rascheta himiko-tehnologicheskogo i prirodohrannogo obo-rudovaniya [Basics of designing and calculating chemical-technological and environmental equipment] / A. S. Timonin. – Kaluga: Izd-vo N. Bochkarevoj, 2002. – Vol. 1. – 852 p.

Статья поступила в редакцию 21 ноября 2016 г.

Ермолаева Вера Анатольевна – кандидат химических наук, доцент кафедры «Техносферная безопасность» Муромского института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Муром, Россия. E-mail: ermolaevava2013@mail.ru

Козлова Ярослава Юльевна – студентка кафедры «Техносферная безопасность» Муромского института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Муром, Россия. E-mail: yaroslava.kozlova115@yandex.ru

Ermolaeva Vera Anatoljevna – Ph.D., Murom Institute of Vladimir State University, Murom, Russia. E-mail: ermolaevava2013@mail.ru

Kozlova Yaroslava Yuljevna – student, Murom Institute of Vladimir State University, Murom, Russia. E-mail: yaroslava.kozlova115@yandex.ru