

Виды основных техногенных отходов производства алюминия на электролизерах с обожженными анодами

© С. И. Козлов, Н. В. Немчинова, Д. А. Федотова

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

Аннотация. Алюминиевая промышленность России является динамично развивающейся отраслью цветной металлургии. Современное производство первичного алюминия электролизом криолит-глиноземного расплава основано на использовании электролизеров с предварительно обожженными анодами на силу тока 350–550 кА. Однако при производстве алюминия образуются твердые техногенные материалы – отходы производства, 70 % из которых в настоящее время складываются на специально отведенных шламохранилищах и полигонах. Данные отходы наносят вред окружающей среде вблизи промышленных предприятий, при этом в них содержатся ценные компоненты – продукты промышленного производства (в частности, фтор, натрий, алюминий), которые целесообразно возвращать вновь в технологический процесс. Основными отходами алюминиевого производства при эксплуатации ванн с предварительно обожженными анодами являются: анодные огарки, глиноземные сметки, графитовый электролит, угольная пена, отработанная (угольная и огнеупорная) футеровка катода отключенных на капитальный ремонт алюминиевых электролизеров. В настоящее время проводится множество исследований с целью рециклинга данных видов отходов. Однако полученных результатов пока недостаточно для внедрения промышленной переработки данного техногенного сырья алюминиевого производства.

Ключевые слова: производство алюминия, электролизер, техногенные отходы, угольная пена, глиноземные сметки, графитовый электролит, отработанная футеровка

Types of the main technogenic wastes of aluminum production on electrolyzers with baked anodes

© Sergey I. Kozlov, Nina V. Nemchinova, Daria A. Fedotova

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

Abstract. The aluminum industry in Russia is a dynamically developing area of non-ferrous metallurgy. Modern production of primary aluminum by electrolysis of cryolite-alumina melt is based on the use of electrolyzers with pre-baked anodes for a current of 350–550 kA. However, during the production of aluminum, solid technogenic materials are formed – production wastes, 70 % of which are currently stored in specially designated sludge storages and landfills. These wastes harm the environment near industrial enterprises, while they contain valuable components – industrial products (in particular, fluorine, sodium, aluminum), which it is advisable to return back to the technological process. The main wastes of aluminum production during the operation of baths with pre-baked anodes are: anode cinders, alumina scraps, clamshell electrolyte, coal foam, spent (coal and refractory) cathode lining of aluminum electrolyzers that were turned off for major repairs. Currently, many studies are being carried out with the aim of recycling these types of waste. Only a part of technogenic raw materials is processed in order to extract valuable elements. However, modern research and the results obtained are still insufficient for the introduction of industrial processing of this technogenic raw material of aluminum production.

Keywords: aluminum production, electrolytic cell, technogenic waste, coal foam, alumina scraps, clamshell electrolyte, spent lining

Введение

Алюминиевая промышленность занимает лидирующие позиции среди производства цветных металлов [1–4]. В настоящее время в мире алюминий получают электролизом криолит-глиноземных расплавов на ваннах с предварительно обожженными анодами (ОА). Данная технология на сегодняшний день является наиболее перспективной. На

электролизерах с ОА имеется большой потенциал по увеличению силы тока (и, следовательно, производительности ванны). На данный момент на Российских заводах ведут процесс электролиза при силе тока 300–400 кА, а в опытных цехах испытывают электролизеры на 550 кА. В Тайшете в декабре 2021 года был запущен новый современный завод по производству первичного алюминия – АО

«РУСАЛ Тайшет». Здесь установлены электролизеры типа РА-400 и планируется запуск второй очереди серии электролиза с установкой ванн на силу тока 550 кА – РА-550.

Благодаря конструкции данных электролизеров процесс улавливания отходящих газов, образующихся в процессе электролиза, более эффективен, по сравнению с электролизерами с самообжигающимися анодами, которыми оснащены примерно на 65 % предприятия компании «РУСАЛ» [5–9]. На электролизерах с ОА применяется «сухой» способ очистки газов, который позволяет улавливать до 99 % вредных выбросов, а также возвращать в производство фтор, что благоприятно сказывается не только на экологии вблизи промышленных предприятий, но и на экономической составляющей (себестоимости тонны алюминия) [7, 9].

Несмотря на множество положительных факторов данного процесса, у него есть ряд недостатков, один из которых – образование твердых техногенных отходов, образующихся в процессе электролиза [10–13]. Часть из них вовлекается обратно в производство, а другая складывается на шламовых полях.

Основные техногенные отходы алюминиевого производства

Анодные огарки

Образуются при сгорании анодного блока

в течение «срока жизни» анода. В среднем анодный блок (рис. 1а) сгорает за 29–30 суток с 630 мм до 170–180 мм. Огарки (рис. 1б) после остывания в цехах электролиза доставляют в анодно-монтажное отделение (АМО), где их очищают от застывшей криолит-глиноземной корки, далее отделяют огарок от кронштейна анододержателя и отправляют на анодные фабрики для дальнейшего использования.

На фабриках огарки проходят стадии дробления и измельчения и вовлекаются в повторное производство (не более 30 % от объема). Также из огарков можно извлекать криолит (Na_3AlF_6) и фтористые соли.

Глиноземные сметки

В процессе электролиза в качестве сырья используется глинозем. Он загружается в электролизеры с помощью автоматической подачи глинозема (АПГ), но в некоторых случаях его загружают в ванну при помощи тачки. При ручной загрузке глинозема происходит его частичное просыпание на отметку +/-0.

Также при замене анодных блоков некоторая часть электролита выплескивается из ванны и попадает на отметку +/-0. Данная смесь глинозема и оборотного электролита называется «сметками» (рис. 2) [12].

Сметки собирают с отметки +/-0 и в полном объеме вовлекают повторно в произ-



а



б

Рис. 1. Обожженные аноды алюминиевых электролизеров:
а – анодные блоки, б – анодные огарки



Рис. 2. Глиноземные сметки

водство в качестве добавки к укрывному материалу, что является положительным фактором. Но при добавлении измельченных сметок в электролит повышается содержание вредных примесей (Si и Fe) в готовом металле.

Грейферный электролит

При замене анодных блоков производится подготовка лузы. В процессе этого краном вычерпывается электролит и куски криолит-глиноземной корки, которые обвалились в расплав. Грейферный электролит (рис. 3а) является отходом производства, но используется в качестве укрывного материала для вновь устанавливаемых анодов. Его собирают и доставляют в АМО. Здесь его измельчают до достижения необходимого гранулометрического состава и отправляют на участок загрузки кранов. Укрывной материал (рис. 3б), полученный таким способом, обладает более высокой насыпной плотностью, чем чистый глинозем, и намного быстрее

спекается. Эти свойства позволяют лучше защищать новые анодные блоки от окисления кислородом воздуха.

Угольная пена

Данный вид отхода не свойственен для технологии электролиза с ОА, примерно 30-50 кг пены на тонну алюминия образуется при электролизе на ваннах с самообжигающимся анодом. Однако при использовании ОА угольная пена образуется, но в меньшем количестве (ее образование зависит от качества сырья, применяемого для производства ОА). Также источником пены являются угольные частицы. В первые двое суток после пуска электролизера, прошедшего капитальный ремонт, происходит спекание и естественный обжиг подовых угольных секций, вследствие чего начинает образовываться угольная пена. Она является показателем стабильного хода электролизера в первые дни после пуска.



а



б

Рис. 3. Вида отходов: а – грейферный электролит, б – укрывной материал

По своему составу угольная пена (рис. 4) является многокомпонентной смесью и в основном состоит из криолита, хиолита, углерода и глинозема. Также в виде примесей в минимальном количестве в угольной пене присутствуют: Mn, Co, Cu, Zn, Pb, Ni, Cr, V, Ti, Mo, Ba, Be, Ga [13].



Рис. 4. Угольная пена, снятая с поверхности электролита

Доставленная из электролизного цеха угольная пена подвергается магнитной сепарации, дроблению, а после направляется на мокрое измельчение. Измельченная в мельнице пена разделяется на два продукта: пульпу, вмещающую тонкие частицы пены, и пески, состоящие из более крупных частиц пены.

Пески возвращают на доизмельчение.

Слив из классификатора поступает в контактный чан на перемешивание с флотореагентом и далее направляется на флотационную переработку с целью отделения углерода от электролита.

Угольная и огнеупорная отработанная футеровка

По истечении срока службы электролизера (60 мес.) его катодную часть полностью демонтируют и устанавливают новую. Отходы, которые получаются при демонтаже катодного устройства ванн, являются сложной монолитной структурой, которую необходимо извлечь из катодного кожуха отбойным молотком. Футеровку разделяют на углеродную и огнеупорную части (рис. 5, [14]).

Углеродную футеровку после отделения от огнеупорной частично отправляют на ферросплавные заводы (из-за содержания в ней флюорита, применяемого в качестве раскислителя при выплавке стали). Но большая часть угольной и вся огнеупорная футеровка складироваться на хвостохранилищах. На данный момент проводится множество исследований с целью рециклинга данных видов футеровки [15–18]. Однако современных исследований и полученных результатов пока недостаточно для запуска промышленной переработки данного вида техногенного сырья.

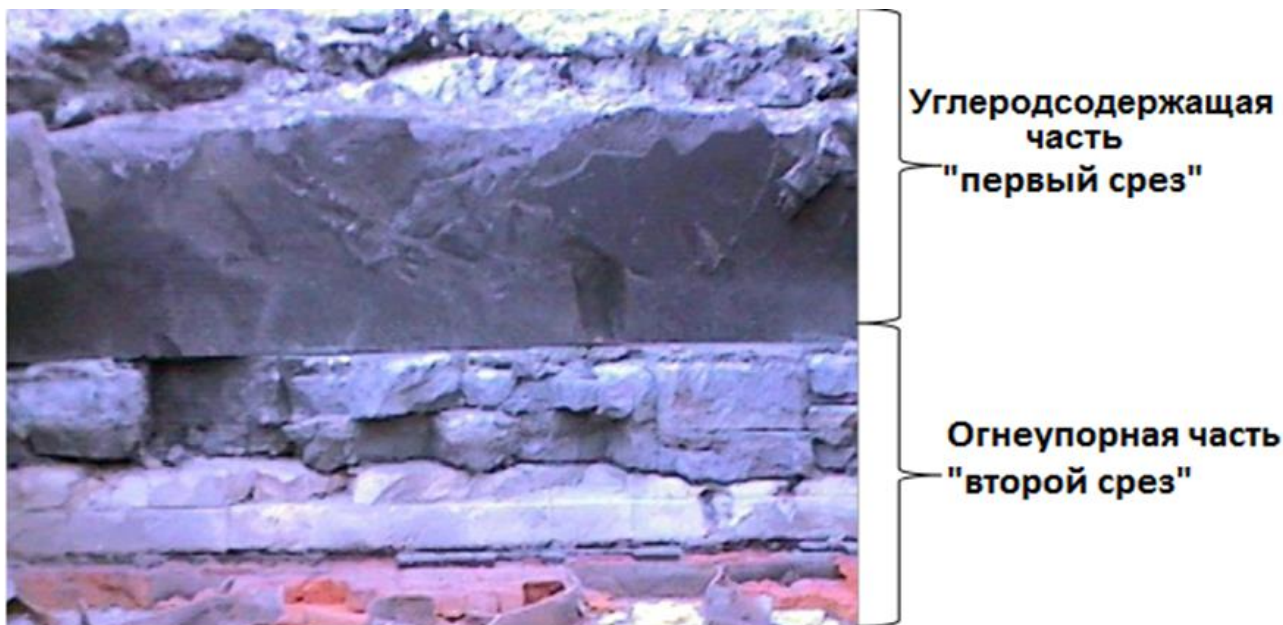


Рис. 5. Отработанная катодная футеровка электролизера производства алюминия [14]

Заключение

Таким образом, вопросы переработки отходов производства алюминия в настоящее время являются актуальными. Часть отходов полностью включена в технологический цикл

производства. Другие же, составляющие почти 70 % от общего количества образующегося сырья, продолжают складироваться на специализированных площадках.

Список источников

1. Grjotheim K., Welch B. J. Aluminium Smelter Technology. Düsseldorf: Aluminium-Verlag, 1988. 327 p.
2. Prasad S. Studies on the Hall-Heroult Aluminum Electrowinning Process // Journal of the Brazilian Chemical Society. 2000. Vol. 11. No. 3. P. 245-251.
3. Alamdari H. Aluminium Production Process: Challenges and Opportunities // Metals. 2017. Vol. 7. Iss. 4. P. 133. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mdpi.com/2075-4701/7/4/133> (23.03.2022).
4. Dudin M. N., Voykova N. A., Frolova E. E., Artemieva J. A., Rusakova E. P., Abashidze A. N. Modern trends and challenges of development of global aluminum industry // Metalurgija. 2017. Vol. 56. Iss. 1-2. P. 255-258.
5. Галевский Г. В., Кулагин Н. М., Минцис М. Я. Экология и утилизация отходов в производстве алюминия. Новосибирск: Наука. Сибирское предприятие РАН, 1997. 155 с.
6. Сторожев Ю. И., Поляков П. В., Дектерев Ар. А., Казанцев Я. В. К вопросу очистки анодных газов электролизера с анодом Содерберга // Экология и промышленность России. 2019. Т. 23. № 11. С. 15–19.
7. Пятёрнева А. А. Повышение степени сухой газоочистки на алюминиевых предприятиях // Фундаментальные исследования. 2013. № 10. Ч. 9. С. 1942–1945.
8. Головных Н. В., Бычинский В. А., Филимонова Л. М., Чудненко К. В., Шепелев И. И. Повышение эффективности систем газоочистки в алюминиевом производстве // Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. 2017. № 3. С. 45–55.
9. Дрягин Д. В., Сокольников Ю. В. Внедрение системы «сухой» газоочистки при производстве алюминия // Молодежный вестник ИрГТУ. 2021. № 4. С. 25–32.
10. Шарифов А. Р., Муродиён А. Ш., Умаров М. К., Акрамов А. А. Классификация твердофазных отходов производства алюминия для их эффективного использования // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. 2006. Т. 49. № 4. С. 344–347.
11. 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.
12. Бурдонов А. Е., Зелинская Е. В., Гавриленко Л. В., Гавриленко А. А. Изучение вещественного состава глиноземсодержащего материала алюминиевых электролизеров для использования в технологии первичного алюминия // Цветные металлы. 2018. № 3. С. 32–38. [Электронный ресурс]. URL: [https://doi.org/10.17580/tsm.2018.03.05\(18.04.2022\)](https://doi.org/10.17580/tsm.2018.03.05(18.04.2022)).
13. Куликов Б. П., Истомин С. П. Переработка отходов алюминиевого производства. Красноярск: Классик-Центр, 2004. 480 с.
14. Veye C. R. Total recovery of Spent Pot Liner (SPL) using the Befesa process // Presentation 27th International Aluminum Conference. Moscow. 2012.
15. Nemchinova N. V., Barauskas A. E., Tyutrin A. A., Vologin V. S. Processing Finely Dispersed Technogenic Raw Materials for Aluminum Production in Order to Extract Valuable Components // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. 2021. Vol. 62. P. 659-667.
16. Немчинова Н. В., Сомов В. В., Тютрин А. А. Определение оптимальных параметров выщелачивания фтора из угольной части отработанной футеровки демонтированных электролизеров производства алюминия // Записки Горного института. 2019. Vol. 239. С. 544–549. [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/10.31897/pmi.2019.5.544> (28.03.2022).
17. Петровский А. А., Немчинова Н. В., Ржечицкий Э. П. Изучение процесса извлечения фтора из огнеупорной части отработанной футеровки электролизеров производства алюминия // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2018. Т. 22. № 8. С. 151–162.
18. Zhao X., Ma L. Hazardous waste treatment for spent pot liner // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2018. Vol. 108. P. 042023.549. [Электронный ресурс]. URL: [https://doi.org/10.1088/1755-1315/108/4/042023\(10.03.2022\)](https://doi.org/10.1088/1755-1315/108/4/042023(10.03.2022)).

Информация об авторах / Information about the Authors

Сергей Ильич Козлов,
магистрант,
Институт высоких технологий,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Российская Федерация,
ilich76s@gmail.com

Sergey I. Kozlov,
Undergraduate,
Institute of High Technologies,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,
Russian Federation,
ilich76s@gmail.com

Нина Владимировна Немчинова,
доктор технических наук, профессор,
заведующая кафедрой металлургии
цветных металлов,
Институт высоких технологий,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Российская Федерация,
ninavn@yandex.ru

Дарья Антоновна Федотова,
студент группы МЦБ-19-1
Институт высоких технологий,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Российская Федерация,
fdasha2013@yandex.ru

Nina V. Nemchinova,
Dr. Sci. (Technics), Professor,
Head of the Department of Non-Ferrous
Metals Metallurgy,
Institute of High Technologies,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,
Russian Federation,
ninavn@yandex.ru

Daria A. Fedotova,
Student,
Institute of High Technologies,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,
Russian Federation,
fdasha2013@yandex.ru