

www.rudmet.ru

ISSN 0372-2929

ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

90
лет

Издается с 1926 г.
(№ 880)

4. 2016



В номере:

- Конверсия вольфрамата натрия в вольфрамат аммония с помощью сильноосновных анионитов (с. 27)
- Метод оценки сульфидной коррозии и изучение влияния структуры на гранулируемые никелевые сплавы с учетом эксплуатации (с. 52)
- Принцип достаточности и достижение оптимальной структуры в легких сплавах (с. 64)
- Историко-культурный комплекс «Калъаи Худжанд» — центр хранения духовного наследия таджикского народа (с. 92)

ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ

Подписные индексы: 71060 (Роспечать)
83869 (ОК «Пресса России»)

4 (880) • 2016
апрель

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

Журнал основан в 1926 г.

УЧРЕДИТЕЛИ:

Издательский дом «Руда и Металлы», ПАО «ГМК «Норильский никель», Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

Журнал выпускается при участии: Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Национального исследовательского Томского политехнического университета, Государственного Эрмитажа;

при содействии: Научно-производственного объединения «РИВС», Новокузнецкого горно-металлургического комбината;

при поддержке: Научно-технического союза по горному делу, геологии и металлургии (Респ. Болгария)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор **А. В. Путилов**
Первый зам. главного редактора **А. В. Сысоев**
Зам. главного редактора **А. Г. Воробьев**

З. С. Абишева, Р. Х. Акчурин, М. В. Астахов (редактор раздела «Наноструктурированные металлы и материалы»), **Н. А. Белов** (редактор раздела «Металлообработка»), **В. А. Бочаров** (редактор раздела «Обогащение»), **Г. Ю. Боярко, В. А. Брюквин, А. А. Быкасов, Г. М. Вольдман** (редактор раздела «Редкие металлы, полупроводники»), **Н. В. Воробьев-Десятовский, В. В. Геневски, Л. А. Глазунов, Ю. Ф. Гнедин, В. А. Дмитриев, А. М. Дриц, С. Ю. Ерошевич, А. В. Зиновьев, В. А. Игнаткина, В. С. Кальченко** (редактор раздела «Легкие металлы, углеродные материалы»), **С. В. Киреев, С. С. Киров, Б. Г. Киселёв, П. А. Козлов, С. И. Корнеев, Ю. А. Король, Б. А. Котляр** (редактор раздела «Экономика и управление производством»), **Ю. А. Котляр, В. А. Крюковский, Ф. Д. Ларичкин, Е. А. Левашов** (редактор раздела «Композиционные материалы и многофункциональные покрытия»), **Ю. В. Левинский, Г. С. Макаров, Н. Е. Мальцев** (редактор раздела «Автоматизация»), **Ю. Н. Мансуров, М. А. Меретуков, В. И. Москвитин, С. С. Набойченко, А. И. Николаев, В. В. Пронников, А. М. Птицын, В. К. Румянцев, А. Г. Рыжов, Ф. М. Сафин, Е. Н. Селиванов, Л. С. Стрижко** (редактор раздела «Тяжелые цветные металлы»), **А. В. Тарасов, А. Н. Федоров, Л. Ш. Цемехман, Л. Б. Цымбулов, М. Р. Шапировский, Ю. В. Шариков, Н. В. Шаркина** (редакционный координатор), **В. И. Щеголев**.
Зарубежные члены редколлегии: **Ж. Баатархуу** (Монголия), **В. В. Геневски** (Болгария), **Д. Дрейсингер** (Канада), **Е. Жак** (Австралия), **К. Кнуутила** (Финляндия), **Б. Фридрих** (Германия).

Представители Издательского дома:

в Республике Казахстан: **З. С. Абишева** (Алматы) (8-10-727) 298-45-02
в Болгарии и балканских странах: **В. В. Геневски** (София) (8-10-359-2) 987-57-27
в Чехии и Словакии: **М. А. Меретуков** (Прага) mamer@inbox.ru
в Венгрии и Австрии: **Г. Сентдьерди** (Будапешт) (8-10-36-30-9) 440-219

Партнеры:

DMG World Media (Великобритания) — www.dmgworldmedia.com; GDMB — Gesellschaft für Bergbau, Metallurgie, Rohstoff- und Umwelttechnik (Германия) — www.GDMB.de; Interall — International Aluminium Publications (Италия) — www.interall.it

РЕДАКЦИЯ:

зам. главного редактора **А. Г. Воробьев**; редакционный координатор, выпускающий редактор **Н. В. Шаркина**;
ведущий редактор **А. Ю. Слепцова**; редактор **А. А. Шарончикова**; младший редактор **Р. А. Ахметгареева**;
ответственная за материалы, опубликованные на английском языке **Д. В. Аникина**; корректор **Ю. И. Королёва**;
ответственная за редакционную подготовку издания **О. Ю. Жукова**; менеджер по производству и распространению **М. А. Уколов**.

Издатель — АО «Издательский дом «Руда и Металлы»
Адрес издателя: 119049, г. Москва, В-49, а/я № 71

Адрес редакции: г. Москва, Ленинский просп., д. 6, корп. 2, НИТУ «МИСиС», комн. 624
Почтовый адрес: 119049, г. Москва, В-49, а/я № 71
Тел./факс: (495) 955-01-75; моб.: 8-926-504-89-75
Эл. почта: tsvetmet@rudmet.ru; интернет: www.rudmet.ru

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)
(Свидетельство ПИ № ФС77-51659 от 02.11.2012 г.).
Товарный знак и название «Цветные металлы» являются исключительной собственностью Издательского дома «Руда и Металлы».

Материалы, отмеченные «Реклама», публикуются на правах рекламы.

За достоверность рекламной информации ответственность несет рекламодатель.

За достоверность научно-технической информации ответственность несет автор.

За сроки размещения опубликованных статей в базе данных Scopus редакция ответственности не несет.

Перепечатка, все виды копирования и воспроизведение материалов, публикуемых в журнале, возможна только с письменного разрешения редакции.

При перепечатке ссылка на журнал «Цветные металлы» обязательна.

Отпечатано в типографии «Офсет Принт»
Адрес типографии: Москва, ул. Прянишникова, д. 8а,
тел.: 8(495) 720-10-94

Подписано в печать с оригинал-макета 25.04.16.
Формат 60x90 1/8. Печ. л. 12. Бумага офсетная.
Печать офсетная.
Тираж 1500 экз. Цена свободная
Дата выхода из печати 06.05.2016

ISSN 0372-2929



9 770372 292006 >

Содержание

Экономика и управление производством

Международный обзор рынка цветных металлов 5

Обогащение

Шерембаева Р. Т., Омарова Н. К., Акимбекова Б. Б., Мухтар А. А. Флотация халькопирита и борнита в трубке Халлимонда 8

Тяжелые цветные металлы

Бобоев И. Р., Касаткина Е. А., Рябова А. В., Ахмаджиди А. С. Исследование и разработка технологии селективной очистки высокооловянистого золотосодержащего сплава от тяжелых цветных металлов 12

Легкие металлы, углеродные материалы

Кольцов В. Ю., Новиков П. Ю., Сарычев Г. А., Тананаев И. Г. Экспериментальные исследования при разработке технологии серноокислотной переработки сподуменового концентрата 18

Ржечицкий Э. П., Кондратьев В. В., Карлина А. И., Шахрай С. Г. Получение фтористого алюминия из отходов алюминиевого производства 23

Редкие металлы, полупроводники

Блохин А. А., Плешков М. А., Шнеерсон Я. М., Михайленко М. А. Конверсия вольфрамата натрия в вольфрамат аммония с помощью сильноосновных анионитов 27

Загородняя А. Н., Шарипова А. С., Абишева З. С., Копбаева М. П. Полупромышленные испытания сорбционной технологии извлечения рения из фильтратов сорбции урана 34

Металлообработка

Демидович В. Б., Оленин В. А., Растворова И. И. Индукционные системы прецизионного нагрева длинномерных цилиндрических заготовок из титановых сплавов 41

Колоколов Е. И., Руденко В. А., Томилин С. А., Ядрышников В. А. Совершенствование конструкции и технологии изготовления медных тоководов высоковакуумных технологических установок 46

Синявский В. С., Бер И. Б., Востриков А. В., Гриц Н. М. Метод оценки сульфидной коррозии и изучение влияния структуры на гранулируемые никелевые сплавы с учетом эксплуатации 52

Материаловедение

Башков О. В., Башкова Т. И., Ромашко Р. В., Попкова А. А. Построение обобщенной диаграммы усталости алюминиевых сплавов с использованием метода акустической эмиссии 58

Меркулова С. М., Бочвар С. Г. Принцип достаточности и достижение оптимальной структуры в легких сплавах 64

Ледер М. О., Горина А. В., Корнилова М. А., Кондрашов Е. Н. Методика определения теплофизических свойств титановых сплавов и параметров граничных условий для процесса вакуумного дугового переплава 70

Автоматизация

Дёмин А. В. Автоматизация нового процесса управления термообработкой металлов давлением для получения прокатных изделий с широкими потребительскими свойствами 76

Наши юбилеры

ШНЕЕРСОНУ Якову Михайловичу — 80 лет 7

Хроника

Реформа, которую не следует забывать (К 50-летию «Косыгинской реформы»: размышления участника).

Б. А. Котляр 82

Борис Александрович Котляр и журнал «Цветные металлы» — сотрудничество продолжительностью свыше 40 лет. **Б. Г. Киселев, А. Г. Воробьев** 88

Историко-культурный комплекс «Кальаи Худжанд» — центр хранения духовного наследия таджикского народа. **М. Т. Бойматов, И. Р. Абдуллоев** 92

ВОЛЬФСОН Григорий Ефимович 17

Требования к оформлению статей 40

Журнал включен в Международные базы данных Scopus, Chemical Abstracts Service

Пятилетний импакт-фактор **РИНЦ** без самоцитирования (2014) **0,194**

Журнал по решению ВАК Минобразования РФ включен в «Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук» по разработке месторождений твердых полезных ископаемых, по металлургии, по экономике, по химии.

Статьи всех авторов, в том числе аспирантов, публикуются в порядке общей очереди бесплатно (за исключением статей рекламного характера).

FOUNDERS OF “TSVETNYE METALLY” JOURNAL:

“Ore and Metals” Publishing House, “Norilsk Nickel” Mining and Metallurgical Company, National University of Science and Technology “MISIS”.

With Participation of National Research Nuclear University “MEPhI”, National Research Tomsk Polytechnic University, State Hermitage Museum.

With Assistance of Scientific and Production Association “RIVS”, Navoi Mining & Metallurgy Combinat.

With the support of Scientific and Engineering Union on Mining, Geology and Metallurgy (Republic of Bulgaria).

Editorial Board:

Chief Editor: **Alexander Putilov**; 1st Deputy Chief Editor: **Anatoly Sysoev**; Deputy Chief Editor: **Alexander Vorobev**.
Editorial Coordinator: **Natalya Sharkina**; Executive Editor: **Anastasia Sleptsova**; Editor: **Anastasia Sharonchikova**; Junior Editor: **Regina Akhmedgareeva**; Responsible for content in English: **Daria Anikina**.

© Designed by: “Ore and Metals” Publishing House,
journal “Tsvetnye Metally”, 2016

Mailing address: Russia, 119049, Moscow, P. O. Box # 71

Phone/fax: +7-495-955-01-75

Internet: www.rudmet.com; **e-mail:** tsvetmet@rudmet.com

Printed in “Ofset Print” publishing house

Contents

BENEFICIATION

Sherembaeva R. T., Omarova N. K., Akimbekova B. B., Mukhtar A. A. Chalcopyrite and bornite flotation in Hallimond tube 8

HEAVY NON-FERROUS METALS

Boboev I. R., Kasatkina E. A., Ryabova A. V., Atmadzhidi A. S. Investigation and development of technology of selective purification of high-tin gold-bearing alloy from heavy non-ferrous metals 12

LIGHT METALS, CARBON MATERIALS

Koltsov V. Yu., Novikov P. Yu., Sarychev G. A., Tananaev I. G. Experimental investigations during the technology development of sulfuric acid processing of spodumene concentrate. 18

Rzhechitskiy E. P., Kondratov V. V., Karlina A. I., Shakhray S. G. Aluminium fluoride obtaining from aluminium production wastes 23

RARE METALS, SEMICONDUCTORS

Blokhin A. A., Pleshkov M. A., Shneerson Ya. M., Mikhaylenko M. A. Sodium tungstate conversion into ammonium tungstate using strongly basic anionites 27

Zagorodnyaya A. N., Sharipova A. S., Abisheva Z. S., Kopbaeva M. P. Semi-industrial testings of sorption technology of rhenium extraction from uranium sorption filtrates 34

METAL PROCESSING

Demidovich V. B., Olenin V. A., Rastvorova I. I. Induction systems of precise heating of long-measured cylindrical billets made of titanium alloys 41

Kolokolov E. I., Rudenko V. A., Tomilin S. A., Yadrishnikov V. A. Upgrading design and technology of manufacturing copper current leads of high-vacuum process units 46

Sinyavskiy V. S., Ber I. B., Vostrikov A. V., Grits N. M. Method of sulphide corrosion assessment and investigation of structure influence on granulated nickel alloys taking into account exploitation 52

MATERIALS SCIENCE

Bashkov O. V., Bashkova T. I., Romashko R. V., Popkova A. A. Design of integrated diagram of aluminium alloys fatigue using acoustic emission method 58

Merkulova S. M., Bocharov S. G. Sufficiency principle and achievement optimal structure in light alloys 64

Leder M. O., Gorina A. V., Kornilova M. A., Kondrashov E. N. Definition method of thermal-physics properties of titanium alloys and boundary data parameters for vacuum arc remelting process 70

AUTOMATION

Demin A. V. Automation of a new process of control of pressure metal heat treatment for obtaining of rolled products with wide consumer properties 76



Колонка главного редактора

90-летие журнала «Цветные металлы»: перспективы развития

Во все времена способность смотреть вперед — основа развития любого дела, журнального дела в том числе. Несмотря на «всеохватность» электронной прессы бумажные журналы остаются базой научно-технической поддержки производства и продвижения инновационных подходов. Что ждет в ближайшем будущем нашу цветную металлургию и где место журнала «Цветные металлы»? Если в черной металлургии высокие переделы продукции превышают 70 %, то в цветной металлургии, поставляющей за рубеж три четверти производимой продукции, все с точностью до наоборот — только 22 % цветных металлов подвергается дальнейшей обработке для получения плит, листов, труб, проволоки и порошков. Последнее особенно актуально, так как одно из новейших направлений порошковой металлургии — аддитивные технологии изготовления деталей и предметов из разных материалов наряду с литьем, прокаткой, штамповкой и резкой. Эти аддитивные технологии и 3D-моделирование становятся крайне востребованными и в оборонно-промышленном комплексе и в гражданских отраслях производства. Уже сегодня наши компании эксплуатируют свыше 60 3D-принтеров, на которых можно применять недавно разработанные и апробированные металлические порошки. Расширение применения алюминия во всех отраслях экономики и на внутреннем рынке является стратегически важным направлением в импортозамещении, при создании новых производств и выпуске продукции цветной металлургии с высокой добавленной стоимостью. В последнее время весьма актуальными стали вопросы производства и поставки на рынок медных труб на основе непрерывного литья заготовок, латунной и алюминиевой лент, алюминиевых строительных профилей и конструкций с разнообразной защитной и декоративной отделкой. Все перечисленные направления развития цветной металлургии, получения и использования цветных металлов обладают огромной «научоемкостью» и требуют совершенствования целого ряда технологий, средств контроля качества, разработки стандартов, норм и правил. Журнал «Цветные металлы» должен стать в ближайшее время той площадкой, на которой ведущие специалисты, исследователи, разработчики и технологи имеют возможность дать рекомендации производителям, как быстрее и качественнее создавать новые инновационные производственные комплексы, использовать новые подходы в технико-экономических оценках конкурентоспособности новых продуктов на основе цветных металлов. Будем надеяться, что качество публикаций в нашем журнале останется на достигнутом высоком уровне и их использование позволит практикам, осваивающим новые инновационные технологии, принимать выверенные инженерные и технико-экономические решения.

*Главный редактор
А. В. Путилов*

Получение фтористого алюминия из отходов алюминиевого производства

УДК 661.862'036.1

Э. П. Ржечицкий, ст. науч. сотр. отдела инновационных технологий¹**В. В. Кондратьев**, нач. отдела инновационных технологий¹**А. И. Карлина**, главный аналитик управления научной деятельности¹**С. Г. Шахрай**, доцент, каф. техносферной безопасности горного и металлургического производства²,
эл. почта: shahrai56@mail.ru¹ ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», Иркутск, Россия.² ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, Россия.

Указаны основные виды твердых фторуглеродсодержащих отходов, которые могут перерабатываться с получением фтористого алюминия AlF_3 . Выполнен расчет массы образующегося избыточного электролита в условиях использования электролизеров с обожженными анодами и «сухой» газоочистки. Приведены экспериментальные данные получения фтористого алюминия из отходов. Внедрение предложенной технологии может обеспечить снижение потребления свежего AlF_3 на 6–8 кг на 1 т металла, а также дефицитного в нашей стране флюоритового концентрата, существенное улучшение экологической обстановки в районах размещения алюминиевых заводов.

При производстве алюминия по технологии Содерберга основными отходами являются: пыль и шламы газоочистки, хвосты флотации угольной пены, материалы капитального ремонта электролизеров, непереработанная часть угольной пены, механические отходы (пыль и пр.). В случае производства алюминия в электролизерах с обожженными анодами и эксплуатации «сухой» газоочистки образуются следующие отходы: материалы капитального ремонта электролизеров, угольная пена (незначительно) и избыточный электролит (новый вид отходов). Причиной образования избыточного электролита является содержащийся в глиноземе оксид натрия — Na_2O , который вступает во взаимодействие с фтористым алюминием, вводимым в электролизер для поддержания необходимого криолитового отношения электролита. Масса избыточного электролита, который может быть переработан на фтористый алюминий с незначительным содержанием натрия (1–3 %), составляет 10–15 кг на 1 т производимого металла.

Также перспективными с точки зрения переработки на фтористый алюминий являются отходы, хранящиеся на шламовых полях, — хвосты флотации, пыль и шлам газоочистки, избыточный регенерационный криолит. При этом прогнозируемая себестоимость фтористого алюминия составляет 21 367 руб./т, а его рыночная цена ~45 000 руб./т. Ожидаемый срок окупаемости предложенной технологии не превышает двух лет.

Ключевые слова: фтористый алюминий, отходы производства алюминия, алюминиевая промышленность, криолит, регенерационный криолит, избыточный электролит, твердые фторуглеродсодержащие отходы.

DOI: <http://dx.doi.org/10.17580/tsm.2016.04.04>

Введение

В современных технологиях производства алюминия потери фтора восполняют в основном фтористым алюминием. Его потребление из расчета на 1 т производимого алюминия для электролизеров Содерберга составляет 30–40 кг, для электролизеров с обожженными анодами с «сухой» очисткой газов — 15–22 кг.

Объем безвозвратных потерь фтора в атмосферу зависит от эффективности систем газоочистки и укрытий электролизеров и составляет не более 6,0–12,0 %. Остальная часть фтора переходит в растворы газоочистки и твердые отходы и может быть частично или полностью возвращена в производство. Содержание фтора в твердых отходах составляет от 7,0 до 50,0 %, также присутствуют углерод, алюминий и натрий [1–6].

При производстве алюминия по технологии Содерберга образуются следующие основные отходы:

- хвосты флотации угольной пены;
- пыль и шламы газоочистки;
- материалы капитального ремонта электролизеров;
- непереработанная часть угольной пены;
- пыль с крыш, сметки пыли с полов и нулевых отметок корпусов электролиза.

Растворы «мокрой» газоочистки перерабатывают с получением регенерационного криолита, который совместно с флотационным возвращают в процесс производства [6, 7].

В условиях эффективных систем укрытий и газоочистки часть регенерационного криолита является избыточной, ее либо реализуют «на сторону», либо ограничивают производство за счет его упрощения. Так, осветление концентрированных фторсодержащих

растворов можно осуществить путем их сброса на шламовое поле вместо проведения этой операции в цехе с использованием флокулянтов. При высокой концентрации сульфатов и понижении температуры на шламовых полях часть фтора выпадает в осадок в виде двойной соли $\text{NaF} \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4$, что снижает объем производства регенерационного криолита.

Перспективными с позиции получения фтористого алюминия являются отходы, хранящиеся на шламовых полях, — хвосты флотации, пыль и шламы газоочистки, осадки фтористых солей. Все эти отходы можно перерабатывать, применяя известные технологии и извлекая регенерационный криолит [1–7]. Авторами предложена технология переработки отходов капитального ремонта электролизеров [5, 8–10].

Для получения фтористого алюминия перспективным сырьем является избыточный электролит, образование которого связано с содержанием в глиноземе оксида натрия (Na_2O). Для поддержания необходимого криолитового отношения в процесс вводят фтористый алюминий, что приводит к избытку электролита [8, 11–14].

Расчет образования избыточного электролита

Среднее содержание Na_2O в глиноземе составляет ~0,35 % (мас.). При удельном расходе глинозема 1920 кг/т производимого алюминия поступление натрия в электролизер составляет:

$$1920 \cdot \frac{0,35}{100} \cdot \frac{46}{62} = 4,986 \text{ кг Na/т Al.}$$

На пропитку футеровочных материалов катодного кожуха расходуется ~30 %:

$$4,986 \cdot 0,3 = 1,496 \text{ кг Na/т Al.}$$

Потери электролита при переработке оборота составляют ~5 %:

$$4,986 \cdot 0,05 = 0,249 \text{ кг Na/т Al.}$$

Таким образом, накопление Na в электролите составляет:

$$4,986 - 1,496 - 0,249 = 3,241 \text{ кг/т Al.}$$

При содержании Na в электролите ~22 % (мас.) накопление электролита составляет:

$$3,241/0,22 = 14,73 \text{ кг/т Al.}$$

Это коррелируется с данными, полученными в процессе эксплуатации опытного участка «Электролиз 300» Уральского алюминиевого завода, где накопление электролита составляло 10,0–15,0 кг/т производимого металла.

Часть накопленного электролита можно использовать при вводе новых мощностей. Однако это пробле-

матично из-за повышения влажности электролита (он гигроскопичен) и возможных потерь фтора, что связано с протеканием соответствующих реакций при хранении. Кроме того, потребность во вводе новых мощностей для поддержания электролита или после капитального ремонта намного ниже объема его образования.

Отходы капитального ремонта электролизеров

Отходы капитального ремонта электролизеров можно разделить на две группы — углеродистые (подовые и боковые блоки) и футеровочные материалы, с которыми теряется ~30 % фтора. При этом объемы и состав таких отходов для электролизеров различных типов и конструкций не имеют принципиальных отличий [1, 2, 5, 13].

Для переработки углеродистых отходов разработана схема щелочного выщелачивания и получения криолита с криолитовым отношением ~3,0 [1, 8, 12, 14], которая в течение нескольких лет эксплуатировалась в промышленном масштабе на Ачинском глиноземном комбинате. Аналогичные схемы применяют и за рубежом, однако их недостатком является не востребованность щелочного криолита для алюминиевых заводов в современных условиях.

На большинстве алюминиевых заводов угольную футеровку дробят и ее крупную фракцию продают предприятиям черной металлургии. Дробленую угольную мелочь и отработанные футеровочные материалы в основном направляют в отвал и лишь незначительное количество кирпича перерабатывают в крошку, используемую при капитальном ремонте электролизеров.

За рубежом наиболее распространена практика обработки отходов капитального ремонта известью с последующим захоронением. В Китае разработана технология измельчения и флотации углеродистых отходов с получением криолитового концентрата, содержащего ~5 % (мас.) углерода [13, 15, 16].

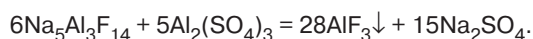
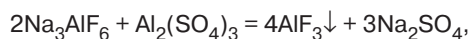
Подводя итог вышеизложенному, отметим, что все перечисленные фторсодержащие отходы являются перспективными материалами, из которых может быть извлечен фтористый алюминий и криолит.

Краткое резюме разработанной технологии

Работы по извлечению фтористых солей из отходов алюминиевого производства начаты в ОАО «СибВАМИ» (Иркутск) и в дальнейшем в Иркутском национальном исследовательском техническом университете. К настоящему времени разработана и запатентована технология переработки регенерационного криолита и избыточного электролита на фтористый алюминий [7, 11]. Суть технологии заключается в том, что при температуре 550–600 °С криолит

Результаты испытания технологии извлечения фтористого алюминия из регенерационного криолита и избыточного электролита (выщелачивание спека проводили в течение 30 ч при температуре 80 °С, Ж:Т = 4, 1)										
Температура, °С	Время обработки, ч	Избыток Al ₂ (SO ₄) ₃ , % к стехиометрии	Содержание в осадке, % (мас.)						Фазовый состав	
			F	Al	Na	SO ₄	прочее	потери при прокаливании		
Исходный регенерационный криолит			45,60	14,32	31,00	4,80	1,80	2,48	Na ₃ AlF ₆ , Na ₂ SO ₄	
400	2	120	31,73	17,01	16,39	30,25	2,30	2,32	Na ₃ AlF ₆ , Na ₅ Al ₃ F ₁₄ , Na ₂ SO ₄	
500	2	120	49,30	26,67	8,40	10,2	2,90	2,53	AlF ₃ , Na ₅ Al ₃ F ₁₄ , Na ₂ SO ₄ , Al ₂ O ₃	
550	2	120	57,10	32,92	2,12	2,30	3,16	2,40	AlF ₃ , Al ₂ O ₃	
600	2	120	57,30	32,50	2,02	2,20	3,63	2,35	AlF ₃ , Al ₂ O ₃	
700	2	120	50,10	35,20	4,20	3,10	5,50	1,90	AlF ₃ , Na ₅ Al ₃ F ₁₄ , Al ₂ O ₃	
550	1	120	50,50	26,80	7,10	10,60	2,60	2,40	AlF ₃ , Na ₅ Al ₃ F ₁₄ , Na ₂ SO ₄	
550	3	120	57,00	32,60	2,20	2,30	3,70	2,20	AlF ₃ , Al ₂ O ₃	
550	2	110	49,30	25,50	7,80	12,10	2,50	2,80	AlF ₃ , NaAlF ₄ , Na ₂ SO ₄ , Al ₂ O ₃	
550	2	130	50,20	37,10	1,70	2,10	6,10	2,80	AlF ₃ , Al ₂ O ₃	
550	2	100	47,90	22,90	11,20	13,10	2,20	2,70	AlF ₃ , NaAlF ₄ , Al ₂ O ₃ , Na ₂ SO ₄	
550	2	120	57,30	33,10	1,90	2,00	3,10	2,60	AlF ₃ , Al ₂ O ₃	
Исходный электролит			52,63	15,50	25,70	0,08	4,89	1,20	Na ₅ Al ₃ F ₁₄ , Al ₂ O ₃ , Na ₃ AlF ₆	
550	2	100	55,10	32,70	2,40	2,20	5,80	1,80	AlF ₃ , Al ₂ O ₃	

взаимодействует с сульфатом алюминия по следующим реакциям:



Полученный таким образом спек направляют на выщелачивание водой. При этом сульфат натрия практически полностью переходит в раствор, а фтористый алюминий остается в осадке и после фильтрации и сушки становится товарным продуктом. Полученные в ходе испытания технологии экспериментальные данные приведены в таблице.

Максимальное извлечение фтора получено при обработке исходных материалов в течение 2 ч при температуре 550–600 °С. Продукт, получаемый по этой технологии, содержит, % (мас.): 55–59 F; 32–34 Al; 2,0–2,5 Na; 2–3 SO₄. Потери при прокаливании составляют 2,5–3,0 % (мас.). Содержание примесей железа и кремния не превышает допустимых ГОСТом для фтористого алюминия.

Исходя из результатов предварительного расчета указанный метод получения фтористого алюминия из фторсодержащих отходов экологически и экономически эффективен. Однако в связи с неопределенностью исходных данных авторы решили отложить представление этих данных до проведения опытно-промышленных испытаний и выполнения технико-экологических расчетов. Неопределенность исходных данных связана прежде всего с отсутствием достоверных и определенных данных о стоимо-

сти сырья — избыточного электролита и криолита, регенерируемого из растворов и твердых отходов.

Заключение

Определенная часть фторуглеродсодержащих отходов может быть утилизирована предприятиями черной металлургии или при капитальном ремонте электролизеров. Применяя известные гидрохимические технологии, практически из всех фторуглеродсодержащих материалов можно извлечь регенерационный криолит. Дальнейшая переработка его, а также избыточного электролита целесообразна спеканием с сульфатом алюминия и выщелачиванием водой. В результате получают фтористый алюминий с низким содержанием натрия.

Статья подготовлена с использованием результатов работ, выполненных в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы». Уникальный идентификатор ПНИЭР R F M E F I 5 7 7 1 5 X 0 1 9 0.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Савинова А. А.** Проблема использования углеродфторсодержащих отходов Красноярского алюминиевого завода // Поиск новых путей : сб. науч. трудов АО «КРАЗ». — Красноярск, 1994. С. 33–45.
2. **Друкарев В. А., Гупало И. П., Буркат В. С.** Снижение выделения в атмосферу вредных веществ при производстве алюминия // Бюллетень ЦНИИцветмета. 1979. № 10. С. 45–50.
3. **Галкин Н. П., Зайцев В. А., Серегин М. Б.** Улавливание и переработка фторсодержащих газов. — М. : Атомиздат, 1975. — 240 с.

4. **А. с. 1801101 СССР.** Способ получения криолита / М. Ю. Комлев, В. В. Дорофеев ; опубл. 07.03.1993.
5. **Куликов Б. П., Истомин С. П.** Переработка отходов алюминиевого производства. — Красноярск : ООО «Классик Центр», 2004. — 480 с.
6. **Буркат В. С., Друкарев В. А.** Сокращение выбросов в атмосферу при производстве алюминия. — СПб. : ООО «Любавич», 2005. — 275 с.
7. **Ржечицкий Э. П., Кондратьев В. В., Тенигин А. Ю.** Технологические решения по охране окружающей среды при производстве алюминия : монография. — Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2013. — 160 с.
8. **Соболев С. А., Седых В. И.** Совершенствование технологии регенерации фтора из твердых отходов алюминиевого производства // Сб. тезисов докладов II Региональной научно-технической конференции молодых ученых и специалистов алюминиевой промышленности. — Иркутск, 2004. С. 96–98.
9. **Pat. 925407 DE.** Verfahren zur Gewinnung von Kryolith aus Aluminium- und Fluorverbindungen enthaltenden Stoffen / Dipling W. G. ; filed : 1952-10-26 ; publ. : 1955-03-21.
10. **Беляев А. И., Жемчужина Е. А.** Микроскопический анализ углеродистых материалов и электродов. — М. : Metallurgizdat, 1957. — 185 с.
11. **Pat. 2462418 РФ.** Способ получения фтористого алюминия / Ржечицкий Э. П., Кондратьев В. В. ; опубл. 27.09.2012, Бюл. № 27.
12. **Исаева Л. А., Поляков П. В.** Глинозем в производстве алюминия электролизом. — Красноуральск : Изд. дом ОАО «БАЗ», 2000. — 199 с.
13. **Richards N. E.** Alumina in Smelting // The 19-th International Course on Process Metallurgy of Aluminium. 2000.
14. **Кондратьев В. В., Ржечицкий Э. П.** Экологическая и экономическая эффективность переработки растворов газоочистки и фторуглеродсодержащих отходов производства алюминия // Экология и промышленность России. 2011. № 8. С. 28–31.
15. **Vinogradov V. V., Petrovskii V. A., Shabalov I. P.** Use of modeling to determine the effect of the contents of aluminum and nitrogen on the formation of nonmetallic inclusions in high-carbon steel // Metallurgist. 2014. Vol. 57, No. 9/10. P. 981–986.
16. **Qin Zhang, Yueqing Qiu, Jianxin Cao.** Study on the Rare Earth Containing Phosphate Rock in Guizhou and the Way to Concentrate Phosphate and Rare Earth Metal Thereof // Journal of Powder Metallurgy & Mining. 2014. Vol. 3, No. 2. P. 44–55. **LIM**

Tsvetnye Metally (Non-ferrous metals). 2016. No. 4. pp. 23–26
DOI: <http://dx.doi.org/10.17580/tsm.2016.04.04>

ALUMINIUM FLUORIDE OBTAINING FROM ALUMINIUM PRODUCTION WASTES

Information about authors

E. P. Rzhchitskiy, Senior Researcher of Innovation Technologies Department¹
V. V. Kondratev, Head of Innovation Technologies Department¹
A. I. Karlina, Chief Analyst of Scientific Effort Office¹
S. G. Shakhrai, Assistant Professor (Chair of Technosphere Safety of Mining and Metallurgical Production)², e-mail: shakhrai56@mail.ru

¹ Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia.

² Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia.

Abstract

This article identifies the main types of solid fluorine-carbon containing wastes which may be processed with obtaining aluminium fluoride AlF_3 . There was calculated the mass of excess electrolyte, forming in the conditions of use of electrolyzers with baked anodes and “dry” gas purification. Experimental data of aluminium fluoride obtaining from wastes are shown. Implementation of this technology may reduce the consumption of fresh AlF_3 by 6–8 kg per a ton of metal, and scarce fluorite concentrate consumption. Ecological situation in aluminium smelter regions may be significantly improved.

The main waste types in Soderberg aluminium technology are: gas purification dust and sludges, coal froth flotation tails, electrolyzer overhaul materials, non-processed part of coal froth, mechanical wastes (dust, etc.). Aluminium production in electrolyzers with baked anodes and “dry” gas purification form the following wastes: electrolyzer overhaul materials, small amount of coal froth and excess electrolyte (a new type of wastes). Sodium oxide (Na_2O), contained in alumina, causes the formation of excess electrolyte.

Authors used the results of the investigations, carried out within the Federal Target Program “Investigations and developments by the priority ways of development of scientific-technical complex of Russia for the period of 2014–2020”. Unique identifier of applied research and experimental developments is RFMEF157715X0190.

Key words: aluminum fluoride, aluminum production wastes, aluminum industry, cryolite, regeneration cryolite, excess electrolyte, solid fluorine-carbon containing wastes.

References

1. Savinova A. A. Problema ispolzovaniya uglefordorsoderzhashchikh otkhodov Krasnoyarskogo alyuminiyevogo zavoda (Problem of use of carbon-fluorine containing wastes of Krasnoyarsk aluminium smelter). *Poisk novykh putey : sbornik nauchnykh trudov aktsionernogo obshchestva “KRAZ”* (Searching for new ways : collection of scientific proceedings of Krasnoyarsk aluminium smelter). Krasnoyarsk, 1994. pp. 33–45.
2. Drukarev V. A., Gupalo I. P., Burkat V. S. Snizhenie vydeleniya v atmosferu vrednykh veshchestv pri proizvodstve alyuminiya (Reduction of aluminium production discharges). *Bulleten TsNIIsvetmeta = Bulletin of TsNIIsvetmet*. 1979. No. 10. pp. 45–50.

3. Galkin N. P., Zaytsev V. A., Seregin M. B. *Ulavlivanie i pererabotka ftorsoderzhashchikh gazov* (Catching and processing of fluorine-containing gases). Moscow : Atomizdat, 1975. 240 p.

4. M. Yu. Komlev, V. V. Dorofeev. *Sposob polucheniya kriolita* (Cryolite obtaining method). Certificate of Authority USSR, No. 1801101. Published : March 07, 1993.

5. Kulikov B. P., Istomin S. P. *Pererabotka otkhodov alyuminiyevogo proizvodstva* (Aluminium production wastes processing). Krasnoyarsk : LLC “Klassik Tsentr”, 2004. 480 p.

6. Burkat V. S., Drukarev V. A. *Sokraschenie vybrosov v atmosferu pri proizvodstve alyuminiya* (Reduction of aluminium production discharges). Saint Petersburg : LLC “Lyubavich”, 2005. 275 p.

7. Rzhchitskiy E. P., Kondratev V. V., Tenigin A. Yu. *Tekhnologicheskie resheniya po okhrane okruzhayushchey sredy pri proizvodstve alyuminiya* : monografiya (Technological solutions for the environmental protection during aluminium production : monograph). Irkutsk : Publishing House of Irkutsk State Technical University, 2013. 160 p.

8. Soboлев S. A., Sedykh V. I. Sovershenstvovanie tekhnologii regeneratsii flora iz tverdykh otkhodov alyuminiyevogo proizvodstva (Improvement of the technology of fluorine regeneration from solid wastes of aluminium industry). *Sbornik tezisev dokladov II Regionalnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii molodykh uchennykh i spetsialistov alyuminiyevoy promyshlennosti* (Collection of thesis of reports of the II Regional scientific-technical conference of young scientists and aluminium production specialists). Irkutsk, 2004. pp. 96–98.

9. Dipling W. G. Verfahren zur Gewinnung von Kryolith aus Aluminium- und Fluorverbindungen enthaltenden Stoffen. Patent DE, No. 925407. Filed : 1952-10-26. Published : 1955-03-21.

10. Belyaev A. I., Zhemchuzhina E. A. *Mikroskopicheskiy analiz uglerodistykh materialov i elektrodov* (Microscopic analysis of carbonaceous materials and electrodes). Moscow : Metallurgizdat, 1957. 185 p.

11. E. P. Rzhchitskiy, V. V. Kondratev. *Sposob polucheniya ftoristogo alyuminiya* (Aluminium fluoride obtaining method). Patent RF, No. 2462418. Published : September 27, 2012. Bulletin No. 27.

12. Isaeva L. A., Polyakov P. V. *Glinozem v proizvodstve alyuminiya elektrolizom* (Alumina in aluminium production by electrolysis). Krasnoturinsk : Publishing House JSC “BAZ”, 2000. 199 p.

13. Richards N. E. Alumina in Smelting. The 19-th International Course on Process Metallurgy of Aluminium. 2000.

14. Kondratev V. V., Rzhchitskiy E. P. Ekologicheskaya i ekonomicheskaya effektivnost pererabotki rastvorov gazoochistki i ftoruglerodsoderzhashchikh otkhodov proizvodstva alyuminiya (Ecological and economic efficiency of processing of gas purification solutions and fluorine-containing production wastes). *Ekologiya i promyshlennost Rossii = Ecology and Industry of Russia*. 2011. No. 8. pp. 28–31.

15. Vinogradov V. V., Petrovskii V. A., Shabalov I. P. Use of modeling to determine the effect of the contents of aluminum and nitrogen on the formation of nonmetallic inclusions in high-carbon steel. *Metallurgist*. 2014. Vol. 57, No. 9/10. pp. 981–986.

16. Qin Zhang, Yueqing Qiu, Jianxin Cao. Study on the Rare Earth Containing Phosphate Rock in Guizhou and the Way to Concentrate Phosphate and Rare Earth Metal Thereof. *Journal of Powder Metallurgy & Mining*. 2014. Vol. 3, No. 2. pp. 44–55.