




ISSN 0202-3776

ОБОГАЩЕНИЕ РУД

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ. ИЗДАЕТСЯ С 1956 ГОДА



КОНСТРУКТИВНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ
ПАРАМЕТРЫ ПНЕВМОУДАРНИКА ДЛЯ
РАЗДЕЛКИ НЕГАБАРИТА

ВЛИЯНИЕ ГАЗОВО-ЖИДКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ
НА КАЧЕСТВО ЖИЛЬНОГО КВАРЦА

АНАЛИЗ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОПЫТА
СКЛАДИРОВАНИЯ СГУЩЕННЫХ ХВОСТОВ

ВИБРАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РЕЦИКЛИНГА
МИНЕРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ОТХОДОВ
СНЕГОПЛАВЛЕНИЯ

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ ГИДРОТРАНСПОР-
ТА ЛИМОНИТОВОЙ РУДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ
МОА-ВОСТОЧНЫЙ

РЕЦИКЛИНГ СМЕТОК ЭЛЕКТРОЛИЗНОГО
ПРОИЗВОДСТВА

2020  2019

www.rudmet.ru

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Основан в 1956 году.
Издается один раз в 2 месяца.
Санкт-Петербург

ОБОГАЩЕНИЕ РУД

2019

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ без самоцитирования — 0,643 (данные на 2017 г.)

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор), ПИ № ФС77-51322 от 19 октября 2012 г.

УЧРЕДИТЕЛИ

АО «Механобр инжиниринг»
Научно-производственная корпорация
«Механобр-техника» (АО)
ФГАОУВО «Национальный
исследовательский технологический
университет «МИСиС»
АО «Издательский дом
«Руда и Металлы»
При участии ИПКОН РАН
и Государственного Эрмитажа

Журнал по решению ВАК Министерства образования и науки РФ включен в «Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени доктора и кандидата наук» по разработке месторождений твердых полезных ископаемых

Журнал включен в Международную реферативную базу данных Scopus (2-й квартал, 2017) для научно-технических изданий, которая признана Министерством образования и науки РФ в качестве одного из критериев общероссийской оценки системы эффективности деятельности высших учебных заведений, а также Международную базу данных Chemical Abstracts Service

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

© Оформление. АО «Издательский дом «Руда и Металлы», «Обогащение руд», 2018.
Товарный знак и название «Обогащение руд» являются исключительной собственностью ИД «Руда и Металлы».

Подписные индексы:
41081 (Роспечать),
10344 (ОК «Пресса России»)

Цена свободная

СОДЕРЖАНИЕ

РУДОПОДГОТОВКА

Юнгмейстер Д. А., Бричкин В. Н., Исаев А. И. Конструктивные и технологические параметры пневмоударника для разделки негабарита..... 3

ТЕХНОЛОГИЯ ОБОГАЩЕНИЯ

Александрова Т. Н., Николаева Н. В., Львов В. В., Ромашев А. О. Повышение эффективности переработки руд благородных металлов на основе моделирования технологических процессов..... 8

ОБОГАТИТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ

Тусупбаев Н. К., Рулев Н. Н., Семушкина Л. В., Нарбекова С. М. Интенсификация флотации техногенного золотосодержащего сырья с применением модифицированного пенообразователя.....15

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ

Скамницкая Л. С., Светова Е. Н., Шанина С. Н. Влияние газово-жидких включений на качество жильного кварца 20

ПРИРОДООХРАННАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ

Кибирев В. И. Анализ производственного опыта складирования сгущенных хвостов 27

ПЕРЕРАБОТКА ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ

Бодуэн А. Я., Фокина С. Б., Петров Г. В., Андреев Ю. В. Аммиачно-автоклавная технология переработки низкокачественных концентратов флотационного обогащения медистых песчаников 33

Васюнина Н. В., Дубова И. В., Белоусов С. В., Шарыпов Н. А. Рециклинг сметок электролизного производства алюминия..... 39

Устинов И. Д. Вибрационная технология рециклинга минеральной части отходов снегоплавания.....45

Яценко Е. А., Гольцман Б. М., Булгаков А. Г., Хольшемахер К. Рециклинг отходов горно-перерабатывающей промышленности, содержащих силикаты.....49

ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ

Вега Альмагер М., Николаев А. К., Бажин В. Ю., Турро Брефф А. Исследование режимов гидротранспорта лимонитовой руды месторождения Моа-Восточный.....55

Юбилей

Цоло Йотову Вутову — 70 лет32

Галине Ивановне Газалеевой — 65 лет.....60

Реклама14, 19

Правила представления статей для опубликования в журнале «Обогащение руд».....54

ISSN 0202-3776



9 770202 377002 >

OBOGASHCHENIE RUD Mineral Processing Journal

Founded in 1956. Issued every two months

CONTENTS

ORE PREPARATION

Yungmeyster D. A., Brichkin V. N., Isaev A. I. Design and process parameters of an air hammer for oversize reduction 3

BENEFICIATION TECHNOLOGY

Aleksandrova T. N., Nikolaeva N. V., Lvov V. V., Romashev A. O. Ore processing efficiency improvements for precious metals based on process simulations 8

BENEFICIATION PROCESSES

Tusupbaev N. K., Rulev N. N., Semushkina L. V., Narbekova S. M. Intensification of flotation of technogenic gold-containing raw materials with the application of a modified foamer 15

TECHNOLOGICAL MINERALOGY

Skamnitskaya L. S., Svetova E. N., Shanina S. N. The effect of gas-liquid inclusions on the vein quartz grade 20

ENVIRONMENT PROTECTION TECHNOLOGY

Kibirev V. I. Analysis of the industrial practice of thickened tailings storage 27

SECONDARY RAW MATERIAL PROCESSING

Boduen A. Ya., Fokina S. B., Petrov G. V., Andreev Yu. V. Ammonia autoclave technology for the processing of low-grade concentrates generated in flotation concentration of cupriferous sandstones 33

Vasyunina N. V., Dubova I. V., Belousov S. V., Sharypov N. A. Recycling of electrolytic aluminum production sweepings 39

Ustinov I. D. Vibration technology for recycling mineral components in snow melting waste 45

Yatsenko E. A., Goltzman B. M., Bulgakov A. G., Holschemacher K. Ways of utilization of mining wastes containing silicates 49

FOREIGN EXPERIENCE

Vega Almaguer M., Nikolaev A. K., Bazhin V. Yu., Turro Breff A. A study of limonite ore hydrotransport conditions for the Moa-East deposit 55

Jubilees

70th birthday of Tsolo Yotov Vutov 32

65th birthday of Galina I. Gazaleeva 60

Advertisements 14, 19

Rules of article submission for publication in «Obogashchenie Rud» journal 54

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

Аксенова Г. Я., канд. геол.-минерал. наук,
Александрова Т. Н., д-р техн. наук,
Арсентьев В. А., д-р техн. наук (главный редактор),

Баранов В. Ф., д-р техн. наук,
Блехман И. И., д-р физ.-мат. наук, проф.,

Бричкин В. Н., д-р техн. наук, проф.,
Вайсберг Л. А., академик РАН,

Воробьев А. Г., д-р экон. наук, проф.,
Газалеева Г. И., д-р техн. наук,

Герасимов А. М., канд. техн. наук,
Емельянов М. Ф., канд. техн. наук,

Зуев В. В., д-р геол.-минерал. наук,
Кибирев В. И., канд. техн. наук,

Максимов И. И., д-р техн. наук, проф.
(председатель редсовета),

Маляров П. В., д-р техн. наук,
Михайлова Н. В., канд. техн. наук,

Отрожденнова Л. А., канд. техн. наук,
Павлова Е. А. (зав. редакцией),

Петров С. В., канд. геол.-минерал. наук,
Рябой В. И., д-р техн. наук, проф.,

Титков С. Н., канд. техн. наук,
Устинов И. Д., д-р хим. наук,

Чантурия В. А., академик РАН,
Чантурия Е. Л., д-р техн. наук, проф.

(зам. главного редактора),

Шендерович Е. М., канд. техн. наук,
Шехирев Д. В., канд. техн. наук,

Юшина Т. И., канд. техн. наук
(зам. председателя редсовета).

Иностранные члены редсовета:

Вутов Ц., д-р, проф. (Болгария),
Довнорович С., д-р (Польша),

Ёнал Г., проф. (Турция),

Пилов П. И., д-р техн. наук, проф.
(Украина).

Редактор *И. Н. Сапрыкина*

Адрес редакции:

199106, Санкт-Петербург, 22 линия, 3.

Телефон/факс: (812) 324 89 45.

E-mail: obrud@mekhanobr.spb.ru

Internet: <http://www.rudmet.ru>

Издатель: Издательский дом «Руда и Металлы», 119049, Москва, Ленинский пр., д. 6, стр. 2, офис 622.

УДК 622.7 : 658.567.1 : 669.713.7

РЕЦИКЛИНГ СМЕТОК ЭЛЕКТРОЛИЗНОГО ПРОИЗВОДСТВА АЛЮМИНИЯ

Н. В. ВАСЮНИНА¹, И. В. ДУБОВА¹, С. В. БЕЛОУСОВ², Н. А. ШАРЫПОВ¹ (1 – Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, РФ; 2 – ООО «РУСАЛ ИТЦ», г. Красноярск, РФ)*

Предложен способ извлечения загрязняющих компонентов из сметок алюминиевого производства с целью дальнейшего возврата их в электролизер. Для обогащения материала предложена следующая схема: измельчение – классификация – обратная флотация – сгущение. Исходный материал, камерный продукт и хвосты анализировались на содержание углерода и оксидов алюминия, железа и кремния с использованием рентгено-спектрального, рентгенофазового и химического методов анализа. Установлено, что переработка общей массы материала не позволяет получить продукт с приемлемым содержанием оксидов кремния и железа. Проведен фазовый анализ различных фракций исходного материала. Предлагается переработка фракций, содержащих минимальное количество загрязняющих веществ (углерода, оксидов кремния и железа). На основании результатов рентгеноспектрального анализа (РСА) были выбраны фракции +5 и –0,071 мм. Из материала крупностью –0,071 мм получен камерный продукт требуемого качества и флотационный глинозем на его основе, из крупной электролитсодержащей фракции (+5,0 мм) – продукт с высоким содержанием фтора, что определяет перспективы его использования.

Ключевые слова: глиноземсодержащие отходы, сметки, электролитическое получение алюминия, флотация сметок, очистка сметок, рециклинг.

DOI: 10.17580/or.2019.02.07

Введение

Алюминий за счет своих универсальных свойств занимает второе место после стали по использованию в строительстве, транспорте, электротехнике, упаковке и других отраслях. Глобальный спрос на него непрерывно растет и по некоторым оценкам к 2050 г. увеличится еще в 2–3 раза. Ежегодное производство алюминия по состоянию на 2014 г. превышает 49 млн т [1]. В России алюминиевая промышленность является стратегически важной отраслью экономики [2].

При получении алюминия электролизом криолитоглиноземного расплава образуются тысячи тонн отходов, проблема утилизации которых актуальна по причинам экологического, технологического и экономического характера. Установлено, что количество твердых отходов составляет 25–27 % от объема производства алюминия [3]. При этом ежегодный объем складирования отходов на шламовых полях алюминиевых заводов Сибирского федерального округа (Иркутского, Братского, Красноярского и Новокузнецко-го) превышает 70 тыс т. На сегодня шламовые поля близки к заполнению, а организация новых является трудно-реализуемой задачей из-за отсутствия свободных пло-

щадей в непосредственной близости от заводов и существенных финансовых затрат. Кроме того, это и серьезная экологическая проблема, что вызывает ужесточение политики Правительства Российской Федерации в области образования и складирования отходов.

Среди основных видов отходов, характерных для электролизного производства алюминия (рис.1), можно выделить пыль электрофильтров, шламы газоочистки, хвосты флотации, отработанную катодную футеровку электролизеров, а также отходы пылеуборочных машин (ПУМ), называемые сметками (глинозем и оборотный электролит, собранный с нулевой отметки корпусов электролиза). Большинство перечисленных отходов содержит ценные компоненты, что повышает актуальность их рециклинга.

Обзор литературы

Проблемой переработки отходов электролитического получения алюминия занимаются многие российские и зарубежные исследователи в поисках наиболее эффективных, простых и экономичных методов [3–15]. В опубликованных работах предлагается комплекс методов и подходов, таких как: нейтрализация отходов и последующее их хранение на шламовых полях, получение различных добавок для сталелитейной и цементной промышленности, производства керамики [4]. Для извлечения ценных компонентов предлагаются обжиг, щелочное или кислотное выщелачивание, флотация, пиролиз или пиросульфидизация [4, 5].

В ряде зарубежных публикаций технологию производства алюминия авторы анализируют с позиций

* Васюнина Наталья Валерьевна – доцент, канд. техн. наук, NVVasyunina@gmail.com; Дубова Ирина Владимировна – доцент, канд. техн. наук, idubova@mail.ru; Белоусов Станислав Викторович – начальник отдела, Stanislav.Belousov@rusal.com; Шарыпов Никита Анатольевич – старший преподаватель, Nikita.Sharypov@gmx.com.

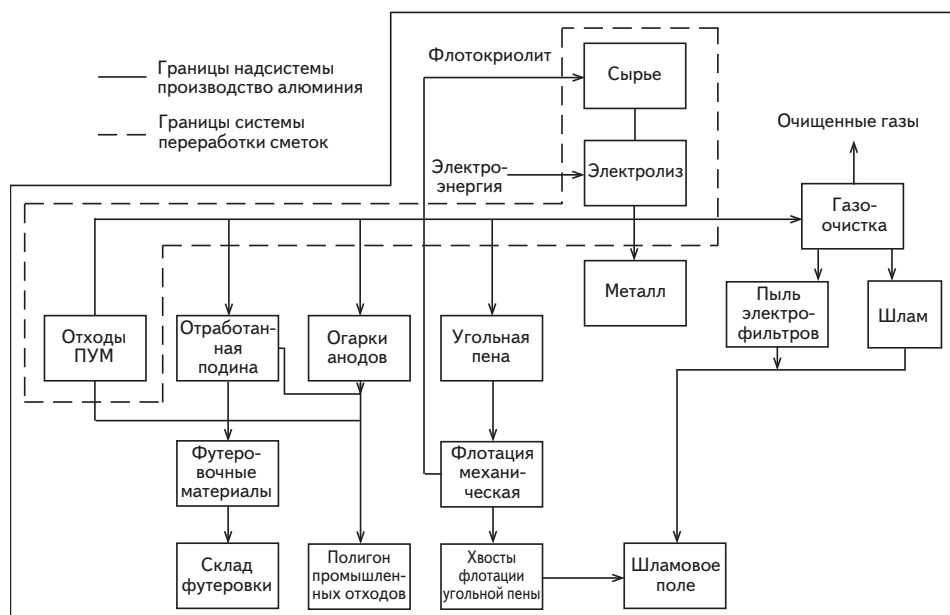


Рис. 1. Схема входящих и выходящих потоков системы производства алюминия

системного подхода [6–9]. Все промежуточные стадии этой технологии, включая добычу бокситов, производство глинозема, получение первичного алюминия электролизом (с учетом производства анодов и получения расплава), первичное литье в слитки, представляют собой отдельные подсистемы единой комплексной системы. Определение границ системы и подсистем зависит от цели, которой необходимо достичь. Целостное мышление (Life System Thinking) позволяет проанализировать и оценить потребление энергии и материалов, выбросы и управление отходами в течение полного жизненного цикла производства (Life Cycle Assessment of Aluminum Production) [7, 8]. Из-за размеров и сложности процесса получения алюминия важно на каждом этапе акцентировать внимание на входных ресурсах (материалах и энергии) и результатах (побочных продуктах и/или выбросах) [9].

Процесс производства алюминия имеет множество связей разного характера (взаимовлияния внутренних и внешних параметров, положительные и отрицательные обратные связи и др.). В рамках данной работы целью-направлением является рециклинг отходов алюминиевого производства, а целью-результатом — схема переработки отходов ПУМ (сметок). Для достижения поставленной цели-результата установлены границы рассматриваемой системы (рециклинг сметок).

Комплексные технологические схемы переработки отходов, созданные в контексте системного подхода, позволят учесть оптимальную логистику производства, энерго- и ресурсосбережение, для предприятий внедрение подобных схем повысит конкурентное преимущество. Технологические схемы комплексной переработки фтор-, глиноземсодержащих отходов производства алюминия приводятся в ряде работ [10–15].

До недавнего времени переработке глиноземсодержащих отходов ПУМ (сметок) не уделялось доста-

точного внимания, лишь в единичных работах исследовалась данная проблема. Но в условиях ужесточения экологических и экономических требований алюминиевые заводы используют любые возможности для снижения себестоимости производства, номенклатура перерабатываемых отходов постоянно расширяется [10–12].

В работах исследователей из Таджикистана [13–15] представлена комплексная схема переработки со смешиванием сметок и углеродсодержащих отходов. Для утилизации вторичного глиноземсодержащего сырья, возврата его в производство предложена технология с гравитационно-магнитным обогащением и предварительным удалением фракций с большим содержанием кремния и кальция [10, 11]. Однако в цитируемых работах отмечено, что данная технологическая схема не позволила достигнуть требуемых показателей по SiO_2 (0,3 %) и Fe_2O_3 (0,2 %). После проведения дополнительных исследований в схему добавлена сухая гравитация на воздушных классификаторах.

В наших предыдущих публикациях отмечалось, что очистить общую массу сметок от загрязняющих примесей до приемлемого уровня их содержания не представляется возможным [12]. Единственным технологически возможным способом очистки материала является отсев и переработка наиболее «богатых» фтор- и глиноземсодержащих фракций с наименьшим содержанием оксидов кремния и железа.

Материалы и методы

При работе пылеуборочных машин на ОАО «РУСАЛ Красноярск» в год образуется до 5000 т глиноземсодержащих отходов, непригодных для вторичного использования в процессе электролиза. Были исследованы две различные партии сметок. Для наиболее полного удаления оксидов кремния и железа проведено флотационное обогащение сметок, предварительно разделенных по фракциям. В качестве флотореагента использовали Flotigam 7266 компании Clariant (Германия), представляющий собой смесь первичных жирных алкиламинов. Флотация проводилась на флотомашине ФМЛ 0,3. Для удаления углеродных частиц использовалась смесь соснового масла и керосина. Химический и фазовый состав исходного материала, камерного продукта и хвостов (содержание углерода и оксидов алюминия, железа и кремния) определяли с использованием рентгеноспектрального, рентгенофазового и химического методов анализа.

Полученные результаты

По данным комплексного рентгеноспектрально-рентгенофазового анализа (РСА-РФА), без учета содержания металлического алюминия, массовая доля глинозема в материале составляет в среднем приблизительно 47,5 %, оксидов железа и кремния — 0,5 и 3,68 % соответственно. По результатам химического анализа первоначальная массовая доля углерода в сметках составляет 7,2 %. По данным РФА, значительная часть фтора, содержащегося в материале, входит в состав криолита и хиолита, оксид алюминия представлен в основном корундом, а кремний и железо преимущественно входят в состав собственных оксидов SiO₂ и Fe₂O₃ и Fe₃O₄.

Разные фракции данного материала представлены различным составом. В крупной фракции образца сметок (+5,0 мм) наблюдаются большое количество кусков застывшего электролита и угольного материала (скорее всего, сколы с анода), корольки алюминия. Эта фракция содержит достаточно много глинозема (30–36 % мас.) и фторсодержащих компонентов (в пересчете на элементный фтор 16–18 % мас.). Средняя фракция (–5,0+2,0 мм) представлена угольной пеной с большим содержанием углерода, доходящим до 40 % мас. Фракция –2,0+0,071 мм содержит значительное количество оксидов кремния и железа при относительно малом содержании глинозема. РСА показал высокое содержание оксидов кремния и железа (3,3–3,7 и 0,6–1,0 % мас. соответственно) во фракции –5,0+0,071 мм при относительно малом содержании в ней глинозема. Мелкая фракция (–0,071 мм) состоит по большей части из глинозема (≈ 65 % мас.) и угольной пены. Она содержит большое количество корольков алюминия мелких и средних размеров. Массовая доля оксидов кремния и железа в ней составляет около 1,0–1,5 и 0,5–0,7 % соответственно.

На основании проведенных анализов определено, что не весь материал ПУМ целесообразно использовать для переработки [12]. Флотационному обогащению были подвергнуты предварительно измельченная фракция +5,0 мм (с наибольшим количеством электролитсодержащих материалов и наименьшим содержанием оксидов кремния и железа) и фракция –0,071 мм (в основном содержащая глинозем). Обобщенные результаты исследования представлены в табл. 1.

На основании полученных результатов предлагается аппаратно-технологическая схема, согласно которой необходима классификация поступающей партии сметок на фракции:

– крупную +5,0 мм, которую в связи с малым ее содержанием в материале и малой концентрацией оксида железа в ней после измельчения можно подавать далее на совместную переработку с угольной пеной для производства флотационного криолита по схеме, функционирующей на сегодняшний день в цехах производства фтористых солей (ЦПФС) большинства алюминиевых заводов;

– мелкую –0,071 мм, которая поступает на отдельную линию флотации для получения сырья с массовой долей глинозема около 90 % и фторидов (в пересчете на элементный фтор) около 5,2 %. Для дополнительной очистки получаемого продукта от углерода и оксидов железа и кремния предлагается использование перечистой флотации;

– фракцию –5,0+0,071 мм — переработке не подлежит и направляется в отвал.

Таблица 1

Параметры очистки сметок пылеуборочных машин (ПУМ)

Параметр	Фракция, мм	
	+0,5	–0,071
Количество образующихся отходов ПУМ, т/мес. (кг/ч)	420,0 (575,3 кг/ч)	
Массовая доля фракции в материале, %	6,37	20,00
Количество перерабатываемого материала, т/мес. (кг/ч)	26,8 (36,7)	84,0 (115,1)
То же, с учетом 50%-го запаса по производительности	40,2 (55,1)	126,0 (172,7)
Массовая доля в исходном материале, %:		
Al ₂ O ₃	35,99	65,81
SiO ₂	3,69	1,18
Fe ₂ O ₃	0,23	0,53
C	5,4	3,4
F	18,04	3,81
Выход камерного продукта, %	35,8	45,6
Массовая доля в материале после основной флотации, %:		
Al ₂ O ₃	63,21	89,6
SiO ₂	0,98	0,35
Fe ₂ O ₃	0,13	0,18
C	1,9	2,6
F	32,05	5,21
Количество получаемого продукта, т/мес.	9,6	38,3
Удельная норма расхода сырья на производство флотационного криолита и глинозема при совместной переработке, т/т	8,77	
Удельная норма расхода сырья на производство флотационного криолита и глинозема соответственно, т/т	43,75	10,97

Для низкокачественного материала (с большим содержанием углерода, оксидов кремния и железа, бытового мусора, малым содержанием глинозема и фторсодержащих компонентов) в ходе исследований не был определен режим флотации, позволяющий получить камерный продукт приемлемого качества. Элементный и фазовый анализы позволяют предположить, что его переработка любыми способами очистки (магнитной или электросепарацией, аэродинамическими способами или разделением в тяжелых суспензиях) не позволит получить продукт, пригодный для использования при электролизе алюминия. Поэтому предлагается введение перед переработкой входного контроля содержания кремния и железа в поступающем материале, его фазового состава для исключения попадания в него отработанной футеровки или большого

количества других сторонних примесей. Такой контроль качества с установленными пределами исходного содержания оксидов алюминия, железа, кремния, углерода и элементарного фтора является необходимым условием.

Для разработанной аппаратурно-технологической схемы переработки сметок основным процессом является флотация, ее параметры и связи между ними показаны на рис. 2. Анализ технологических процессов с точки зрения управления должен стать основой разработки АСУ ТП флотационного отделения.

Аппаратурно-технологическая схема получения флотационного глинозема из сметок

В связи с небольшими объемами перерабатываемого материала предлагается опытно-промышленная линия, включающая подготовку сметок к флотации, собственно флотацию, сгущение флотационного глинозема, его фильтрацию и сушку (рис. 3, табл. 2). С целью снижения затрат можно включить данную линию в технологическую схему получения флотационного криолита.

Таблица 2

Основные параметры технологической схемы переработки сметок

Процессы	Компоненты	Материалы
Подготовка сметок к флотации	Сметки Пена угольная	Шары стальные мелющие для шаровых мельниц
Флотация сметок	Flotigam 7266 Керосин	Ткань фильтровальная неотделанная для вакуум-фильтров
Сгущение флотационного глинозема	осветительный Масло сосновое флотационное	вакуум-фильтров
Фильтрация глинозема	синтетическое	Проволока из углеродистой
Сушка флотационного глинозема	Мазут топочный марки 100, малозольный	конструкционной стали для вакуум-фильтров

На первой стадии сметки автомашинами завозят в приемный бункер, из которого они вибропитателем и далее ленточным конвейером подаются на вибрационное сито, где производится рассев материала на три фракции: +5,0; -5,0+0,071; -0,071 мм. Металлический лом улавливается металлоотделителем на ленточном конвейере. Крупную фракцию подают далее на линию переработки угольной пены или используют для производства флотационного глинозема по



Рис. 2. Параметры процесса флотации

сле предварительного измельчения, средняя фракция идет в отвал. Мелочь подается конвейером в мешалку-зумпф, в которую поступает техническая вода, а также вода с перечистой и контрольной флотации. Полученная суспензия центробежным насосом подается на передел флотации. Весовое соотношение Т : Ж = 1 : 10, оно обеспечивается регулировкой подачи воды. Дозировка мелочи сметок в мешалку составляет 115 кг/ч (по весоизмерителю или визуально). Для контроля процесса необходимо периодически отбирать пробы и проводить анализы их гранулометрического, химического состава и на содержание влаги.

Предлагаются три стадии флотации: основная, перечистная и контрольная. В качестве флотореагентов используются амин Flotigam 7266, керосин и сосновое масло. Flotigam 7266 хранят в герметичных контейнерах. Для приготовления флотореагентов в баке сжатым воздухом перемешивают 10 частей керосина и 1 часть соснового масла; для приготовления Flotigam 7266 необходимо в мешалку подавать горячую (около 80 °С) воду, в которой расплавлять амин в необходимом количестве, затем перемешивать. В каждой стадии в результате флотации получают пенный и камерный продукты.

Продукты основной флотации поступают на перечистку (камерный продукт) и на контрольную флотацию (пенный продукт). Фторсодержащий глинозем (камерный продукт перечистой флотации) поступает на сгущение, промпродукт I (пенный продукт) поступает обратно в мешалку-зумпф. Пенный продукт основной флотации перед контрольной флотацией подвергают перемешиванию в первых четырех камерах флотомашин для разрушения пены с целью снижения потерь фтора.

В этих камерах должны быть сняты пеногоны, закрыты воздухозаборные патрубки импеллеров. Контрольную флотацию пенного продукта основной флотации проводят в 4 камерах флотомашин. Промпродукт II поступает обратно в мешалку-зумпф, камер-

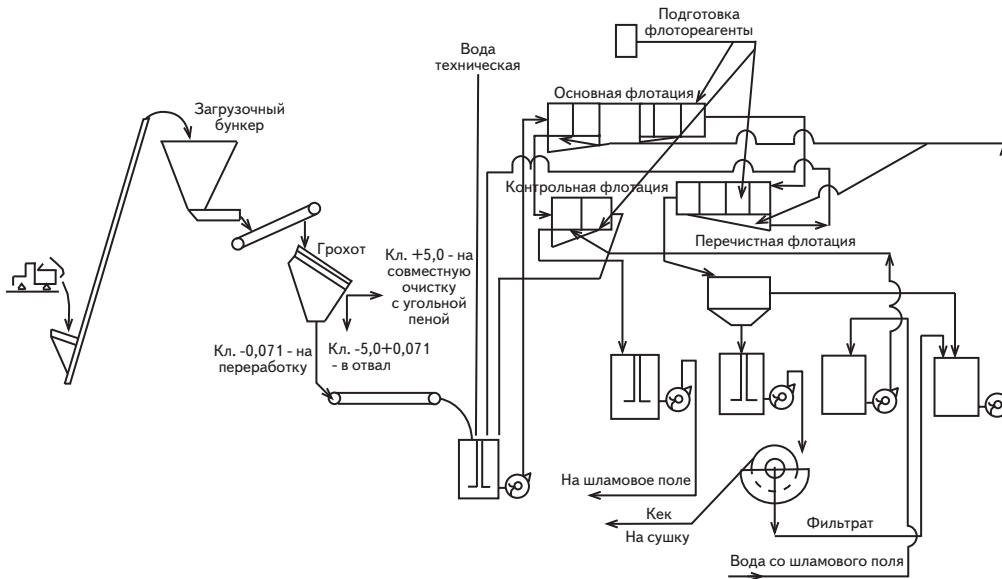


Рис. 3. Аппаратурно-технологическая схема получения флотационного глинозема из сметок

ный продукт, пенный продукт, хвосты отвальные откачивают насосами на шламоотвал.

После перечистой флотации камерный продукт поступает в сгустители, в результате получают сгущенный флотационный глинозем, который поступает в мешалку, перемешивается и нагревается. Из мешалки пульпу насосами перекачивают в барабанные вакуум-фильтры. После фильтрации флотационного глинозема получают кек (направляют на сушку в сушилки) и фильтрат. Сушка глинозема осуществляется в барабанной или полочной (с подогревом под паром (электроподогревом)) сушилке. Готовый продукт ленточным конвейером и вертикальным быстроходным ленточным элеватором транспортируется в силос готовой продукции.

Основные выводы

1. Представлены результаты флотационного обогащения фракций материала, наиболее «богатых» фтор- и глиноземсодержащими компонентами: предварительно измельченной фракции +5,0 мм (с наибольшим количеством электролитсодержащих материалов и наименьшим содержанием оксидов кремния и железа) и фракции -0,071 мм (в основном содержащей глинозем).

2. Предложена аппаратурно-технологическая схема переработки сметок ПУМ, позволяющая классифицировать материал и переработать мелкую фракцию (-0,071 мм) методом флотации с получением сырья, содержащего около 90 % мас. глинозема и около 5,2 % мас. (в пересчете на элементный фтор) фторидов. Для дополнительной очистки получаемого продукта от углерода, оксидов железа и кремния применена перечистная флотация.

3. Определены оптимальные режимы флотации: соотношение Т : Ж = 1 : 10, концентрация флотореагента Flotigam 7266 50 г/т, добавка смеси соснового

масла с керосином в соотношении 1 : 8–10.

4. Необходимым условием ведения процесса является входной контроль качества поступающего материала по содержанию в нем оксидов алюминия, железа, кремния, углерода и элементного фтора.

Список литературы

1. U. S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2015. URL: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/aluminum/mcs-2015-alumi.pdf>.
2. URL: <http://www.world-aluminium.org/statistics/#data> (дата обращения: 09.01.19).
3. Патрин Р. К., Сизяков В. М., Бажин В. Ю. Перспективы пирометаллургической переработки техногенных отходов алюминиевого производства // Известия вузов. Цветная металлургия. 2013. № 6. С. 61–63.
4. Kondrat'ev V. V., Rzhchitskii E. P., Karlina A. I., Sysoev I. A., Shakhrai S. G. Recycling of electrolyzer spent carbon-graphite lining with aluminum fluoride regeneration // Metallurgist. 2016. Vol. 60, No. 5–6. P. 571–575. DOI: [org/10.1007/s11015-016-0333-4](https://doi.org/10.1007/s11015-016-0333-4).
5. Abdrakhimov V. Z. Use of aluminum-containing waste in production of ceramic materials for various purposes // Refractories and Industrial Ceramics. 2013. Vol. 54, No. 1. P. 7–16.
6. Nour Attia, Kareem M. Hassan, and Mohamed I. Hassan. Environmental impacts of aluminum dross after metal extraction // Light Metals. Springer International Publishing, 2018. P. 1155–1161.
7. Satish Reddy M., Neeraja D. Aluminum residue waste for possible utilisation as a material: a review // Sādhanā. 2018. Vol. 43, Iss. 8. Article: 124. DOI: [10.1007/s12046-018-0866-2](https://doi.org/10.1007/s12046-018-0866-2).
8. Cremiato R., Mastellone M. L., Tagliaferri C., Zaccariello L., Lettieri P. Environmental impact of municipal solid waste management using Life Cycle Assessment: The effect of anaerobic digestion, materials recovery and secondary fuels production // Renewable Energy. 2018. Vol. 124 (C). P. 180–188. DOI: [10.1016/j.renene.2017.06.033](https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.06.033).
9. Haraldsson J., Johansson M. Review of measures for improved energy efficiency in production-related processes in the aluminium industry – From electrolysis to recycling // Renewable & Sustainable Energy Reviews. 2018. Vol. 93. P. 525–548. DOI: [10.1016/j.rser.2018.05.043](https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.05.043).
10. Бурдонов А. Е., Барахтенко В. В., Прохоров К. В., Гавриленко А. А. Результаты исследований рабочих индексов дезинтеграции глиноземсодержащих отходов // Обогащение руд. 2018. № 4. С. 11–16. DOI: [10.17580/or.2018.04.03](https://doi.org/10.17580/or.2018.04.03).
11. Барахтенко В. В., Бурдонов А. Е., Зелинская Е. В., Волянский В. В., Гавриленко А. А. Очистка некондиционного глиноземсодержащего продукта для использования в производстве алюминия // Материалы XXIII Международной научно-технической конференции «Научные основы и

практика переработки руд и техногенного сырья». Екатеринбург: Форт Диалог-Исеть, 2018. С. 201–204.

12. Максимова М. А. Разработка способа извлечения загрязняющих компонентов из глиноземсодержащего сырья при производстве алюминия // XXI век. Техносферная безопасность. 2016. Т. 1, № 3. С. 53–64.

13. Vasyunina, N. V., Belousov, S. V., Dubova, I. V., Morenko, A. V., Druzhinin, K. E. Recovery of silicon and iron oxides from alumina-containing sweepings of aluminum production // Russian Journal of Non-ferrous Metals. 2018. Vol. 59, No. 3. P. 230–236.

OBOGASHCHENIE RUD, 2019, No. 2, pp. 39–44.
DOI: 10.17580/or.2019.02.07

Recycling of electrolytic aluminum production sweepings

Information about authors

Vasyunina N. V.¹, Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences, NVVasyuni-na@gmail.com;

Dubova I. V.¹, Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences, idubova@mail.ru;

Belousov S. V.², Head of Department, Stanislav.Belousov@rusal.com;

Sharypov N. A.¹, Senior Lecturer, Nikita.Sharypov@gmx.com.

¹ Siberian Federal University (Krasnoyarsk, Russia).

² LLC «RUSAL ITC» (Krasnoyarsk, Russia).

Abstract


A method is proposed for extracting contaminating components from aluminum production sweepings for their subsequent recovery to the electrolyzer. The following processing system is proposed for the material: grinding – classification – reverse flotation – thickening. In order to ensure complete removal of silicon and iron oxides in the flotation of sweepings, Flotigam 7266 flotation agent by Clariant (Germany) is used, representing a mixture of primary fatty alkylamines. The removal of carbon particles is ensured through the use of pine oil mixed with kerosene. Flotation is carried out in a FML 0.3 flotation machine. The feed, flotation product and tails are analyzed to determine the content of carbon, aluminum, iron and silicon oxides using X-ray spectrometry, X-ray phase analysis and chemical assays. It is established that pro-cessing of the total mass of the material does not render a product with any acceptable contents of silicon and iron oxides. A phase analysis of various fractions of the feed material is carried out. It is proposed to process the material fractions containing the minimum amount of contaminants (such as carbon and silicon and iron oxides). Based on the X-ray spectrometry results for various material fractions, two fractions of +5 mm and –0.071 mm are selected for flotation. Processing of the –0.071 mm material renders a flotation product of the required grade and flotation alumina based on this product. In the processing of the coarse electrolyte-containing fraction (+5.0 mm), a product with a high fluorine content is obtained, indicating its high application prospects.

Key words: alumina-containing wastes, sweepings, electrolytic aluminum production, flotation of sweepings, cleaning of sweepings, recycling.

References

1. U. S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2015. URL: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/aluminum/mcs-2015-alumi.pdf>.
2. URL: <http://www.world-aluminium.org/statistics/#data> (accessed: 09.01.19).
3. Patrín R. K., Sizyakov V. M., Bazhin V. Y. Prospects of pyrometallurgical processing of technogenic waste of aluminum production. *Izvestiya Vuzov. Tsvetnaya Metallurgiya*. 2013. No. 6. pp. 61–63. DOI: org/10.17073/0021-3438-2013-6-61-63.
4. Kondrat'ev V. V., Rzhchitskii E. P., Karlina A. I., Sysoev I. A., Shakhrai S. G. Recycling of electrolyzer spent carbon-graphite lining with aluminum fluoride regeneration.

14. Раджабов Ш. Х., Шоев И. С., Мухамедиев Н. П., Рузиев Дж. Р., Сафиев А. Х., Бобоев Х. Э., Мирпочаев Х. А., Сафиев Х. Комплексная переработка фтор-, глиноземсодержащих отходов производства алюминия // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. 2014. Т. 57, № 1. С. 51–55.

15. Сафиев Х., Кабилов Ш. О., Азизов Б. С., Мирпочаев Х. А., Рузиев Дж. Р., Бобоев Х. Э., Раджабов Ш. Х. Технология получения криолита и фторида алюминия из глинозем-, фторсодержащих отходов производства алюминия // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. 2011. Т. 54, №10. С. 845–850. 

Metallurgist. 2016. Vol. 60, No. 5–6. pp. 571–575. DOI: org/10.1007/s11015-016-0333-4.

5. Abdrakhimov V. Z. Use of aluminum-containing waste in production of ceramic materials for various purposes. *Refractories and Industrial Ceramics*. 2013. Vol. 54, No. 1. pp. 7–16.

6. Nour Attia, Kareem M. Hassan, Mohamed I. Hassan. Environmental impacts of aluminum dross after metal extraction. *Light Metals*. Springer International Publishing, 2018. pp. 1155–1161.

7. Satish Reddy M., Neeraja D. Aluminum residue waste for possible utilisation as a material: a review. *Sādhanā*. 2018. Vol. 43, Iss. 8. Article:124. DOI: 10.1007/s12046-018-0866-2.

8. Cremiato R., Mastellone M. L., Tagliaferri C., Zaccariello L., Lettieri P. Environmental impact of municipal solid waste management using Life Cycle Assessment: The effect of anaerobic digestion, materials recovery and secondary fuels production. *Renewable Energy*. 2018. Vol. 124(C). pp. 180–188. DOI: 10.1016/j.renene.2017.06.033.

9. Haraldsson J., Johansson M. Review of measures for improved energy efficiency in production-related processes in the aluminium industry – From electrolysis to recycling. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. 2018. Vol. 93. pp. 525–548. DOI: 10.1016/j.rser.2018.05.043.

10. Burdonov A. E., Barakhtenko V. V., Prokhorov K. V., Gavrilenko A. A. Results of studies of disintegration working indices for alumina-containing wastes. *Obogashchenie Rud*. 2018. No. 4. pp. 11–16. DOI 10.17580/or.2018.04.03.

11. Barkhatenko V. V., Burdonov A. E., Zelinskaya E. V., Volynskiy V. V., Gavrilenko A. A. Cleaning of substandard alumina-containing product for use in the production of aluminum. *Proc. of the XXIII International scientific and technical conference «Scientific basis and practice of ore and technogenic raw materials processing»*. Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset', 2018. pp. 201–204.

12. Maksimova M. A. Development of extraction method for contaminants of an alumina-feedstock in the aluminum industry. *XXI Vek. Tekhnosfernaya Bezopasnost'*. 2016. Vol. 1, No. 3. pp. 53–64.

13. Vasyunina, N. V., Belousov, S. V., Dubova, I. V., Morenko, A. V., Druzhinin, K. E. Recovery of silicon and iron oxides from alumina-containing sweepings of aluminum production. *Russian Journal of Non-ferrous Metals*. 2018. Vol. 59, No. 3. pp. 230–236.

14. Rajabov Sh. Kh., Shoev I. S., Mukhamediev N. P., Ruziev J. R., Safiev A. H., Boboev H. E., Mirpochaeв Kh. A., Safiev H. Complex processing of floury-, alumina-waste of aluminum production. *Doklady Akademii Nauk Respubliki Tadzhikistan*. 2014. Vol. 57, No. 1. pp. 51–55.

15. Safiev H., Kabirov Sh. O., Azizov B. S., Mirpochaeв Kh. A., Ruziev D. R., Boboev H. E., Radzhabov Sh. H. The technology of reception of cryolite and fluoride of aluminum from alumina-, fluorine-containing aluminum production wastes. *Doklady Akademii Nauk Respubliki Tadzhikistan*. 2011. Vol. 54, No. 10. pp. 845–850.