

2. Принципы пиро-гидрометаллургической переработки кварц-лейкоксенового концентрата с формированием фазы псевдобрукита / Е. Н. Кузин, Н. Е. Кручина, А. Б. Фадеев, Т. И. Носова // Обогащение руд. – 2021. – № 3. – С. 33–38.

3. *Маслова М. В.* Физико-химическое основание и разработка технологии титансодержащих сорбентов из сфенового концентрата : дис. ... канд. техн. наук / Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева КНЦ РАН. – Апатиты, 2015. – 404 с.

4. *Хазин Л. Г.* Двуокись титана / Л. Г. Хазин. – 2-е изд., испр. и доп. – Ленинград : Химия. Ленингр. отд-ние, 1970. – 176 с.

5. Патент № 2356837 С1 Российская Федерация, МПК C01G 23/00, C09C 1/36. Способ получения титансодержащего продукта из сфенового концентрата : № 2007139744/15 : заявл. 26.10.2007 : опубл. 27.05.2009 / Л. Г. Герасимова, А. И. Николаев, Е. С. Щукина ; заявитель Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева Кольского научного центра Российской академии наук.

6. Химия и технология редких и рассеянных элементов : учеб. пособие для студентов хим.-технол. спец. вузов / под ред. чл.-корр. АН СССР К. А. Большакова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Высш. школа, 1976. – 319 с.

7. Очистка кислотнo-щелочных сточных вод гальванического производства с использованием инновационных реагентов / Е. Н. Кузин, А. Б. Фадеев [и др.] // Гальванотехника и обработка поверхности. – 2020. – Т. 28. – № 3. – С. 37–44.

8. *Носова Т. И.* Исследование влияния добавки соединений титана на процесс коагуляционной очистки сточных вод гальванического производства / Т. И. Носова, Т. Г. Любушкин, Е. Н. Кузин // Успехи в химии и химической технологии. – 2021. – Т. 35. – № 12 (247). – С. 108–110.

УДК 669.712:669.053.4:669.871

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОЭКСТРАКЦИИ ГАЛЛИЯ ИЗ ОБОРОТНЫХ РАСТВОРОВ ГЛИНОЗЕМНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Скачков В. М., Пасечник Л. А., Медянкина И. С., Сабирзянов Н. А.

Институт химии твердого тела Уральского отделения РАН,
г. Екатеринбург, Россия

Аннотация. Методами электролиза предварительно очищенных алюминатных растворов глиноземного производства получен галлий высокой чистоты. Разработана усовершенствованная конструкция электролизера повышенной производительности для электроэкстракции галлия. Показана технологическая последовательность операций извлечения металлического галлия из алюминатных оборотных растворов.

Ключевые слова: галлий, электролиз, алюминатный раствор, очистка раствора, глиноземное производство, межэлектродное расстояние.

Рассеянный элемент галлий в рудах цветных металлов содержится в малых концентрациях. В мире галлий получают главным образом в качестве побочного продукта при переработке боксита, принципиальная технологическая схема Байер-процесса представлена на рис. 1, где источником галлия являются оборотные растворы глиноземного производства.



Рис. 1. Принципиальная схема переработки боксита методом Байера

Основная область применения галлия электронная промышленность. Светодиоды, солнечные батареи, смартфоны «съедают» намного больше половины производимого галлия, на сплавы идет около 6 %, наиболее важным направлением использования галлия является синтез соединений типа $A^{III}B^V$ (GaN, GaP, GaAs, GaSb) – базовых материалов для современной опто- и микроэлектроники, но есть и другие области применения [1]. Главный производитель галлия – Китай и он продолжает наращивать производство, несмотря на падение цен на металлы и с 2018 г. вплотную приблизился к тому, чтобы стать мировым монополистом, т. к. выпуск первичного галлия в этом году в КНР составил 90 % от мирового [2].

Способов получения галлия из щелочно-алюминатных растворов глиноземного производства существует несколько [3; 4], но наиболее эффективным является электролитическое извлечение [5]. Однако электроэкстракция галлия из растворов не прошедших предварительную подготовку не обеспечит серьезного извлечения, производительности, снижения расходов и надежного выпуска металла высокой чистоты (6N). Получение металла такой чистоты требует усовершенствования технологии, прежде всего, можно улучшить очистку исходного электролита, что также позволит повысить извлечение галлия, сократить время проведения операций и увеличить количество циклов концентрирования галлия для увеличения его выпуска. Это мероприятие должно надежно гарантировать качество

галлия – до чистоты 6N, необходимой для электронной промышленности (рис. 2).

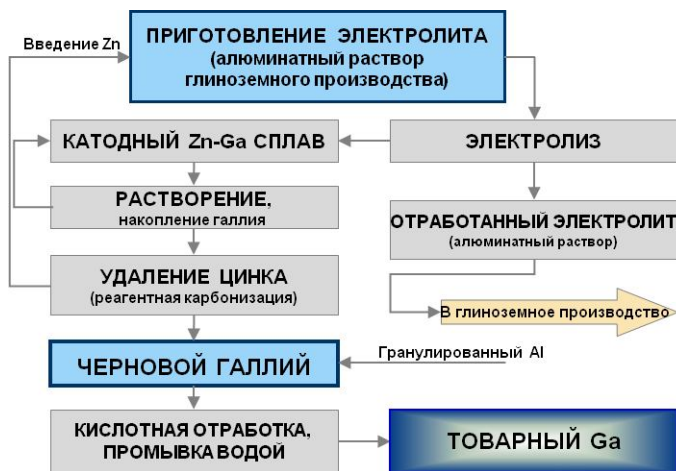


Рис. 2. Технологическая схема получения галлия из алюминатных растворов

Для организации производств по получению галлия на глиноземных заводах, на основании прошлого опыта нами разработана усовершенствованная конструкция электролизеров (рис. 3) для электролиза галлия из алюминатных растворов. Корпус таких электролизеров разделен продольной перегородкой на две части, каждая из которых в свою очередь разделена поперечными перегородками на 8 секций, по ширине эти секции меньше на треть по сравнению с секциями электролизеров ранних конструкций, в том числе и эксплуатируемых в КНР.

В двух симметрично расположенных по ширине корпуса секциях, образующих отсек, размещен пакет электродов, разделенных по длине на половины, каждая из которых присоединена к одной медной штанге, опирающейся на токоподводящую шину соответствующей полярности. Принятые размеры секций и расположение в них электродов уменьшили в 2 раза, со 140 до 70 мм – расстояние, которое проходят ионы галлата и цинката из глубины электролита к катодам. Соответственно сокращается и продолжительность электролиза. В занятом секциями пространстве находится более 80 % электролита с минимальным газонаполнением, поэтому в нем поддерживается оптимальная плотность тока – $7,5 \text{ кА/м}^3$ при расчетной плотности $5,8 \text{ кА/м}^3$, что позволяет снизить потребление электроэнергии. Техничко-энергетические показатели представлены в табл. 1.

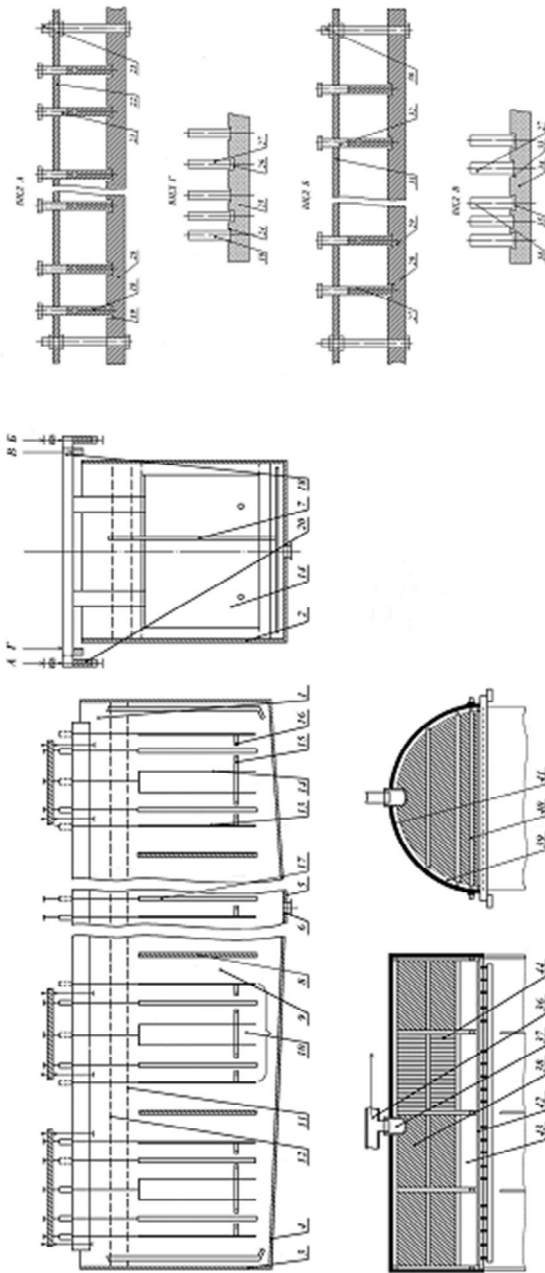


Рис. 3. Установка для электроэкстракции галлия из алюминатных растворов:

1 – стальной корпус; 2 – продольная стенка; 3 – поперечная, торцевая стенка; 4 – днище; 5 – горизонтальная площадка; 6 – сливное отверстие; 7 – устройство для промывки (промывное устройство); 8 – перегородка; 9 – секция; 10 – блок электродов; 11 – уровень электролита при электролизе; 12 – исходный уровень электролита; 13 – одинарный анод; 14 – «П»-образный анод; 15 – фиксатор положения; 16 – электроизолирующий колпачок; 17 – корытчатый водоохлаждаемый катод; 18 – анодная штанга; 19 – паз в анодной штанге; 20 – анодная шина; 21 – крепежные болты на анодной шине; 22 – стальная пластина для зажима анодных штанг; 23 – крепежные винты для зажима анодных штанг; 24 – пазы в анодной электроизоляционной пластине; 25 – анодная электроизоляционная пластина; 26 – глубокие пазы в анодной электроизоляционной пластине; 27 – катодные штанги; 28 – паз в катодной шине; 29 – катодная шина; 30 – крепежные болты на катодной шине; 31 – стальная пластина для зажима катодных штанг; 32 – крепежные винты для зажима катодных штанг; 33 – пазы в катодной электроизоляционной пластине; 34 – катодная электроизоляционная пластина; 35 – глубокие пазы в катодной электроизоляционной пластине; 36 – вытяжная вентиляция; 37 – гофрированный резиновый патрубок; 38 – каркас укрытия; 39 – дуги каркаса; 40 – стальные стержни; 41 – покрытие каркаса; 42 – опорная горизонтальная трубка; 43 – проем в каркасе; 44 – раздвижные шторы

**Технологические и энергетические характеристики
и показатели электролиза галлия**

Электролит			Электролизер			
Объем, м ³	Концентрация, г/дм ³		Время подготовки, сутки	Напряжение, В	Ток, кА	Производительность, кг/сут.
	Na ₂ O	Ga				
4,3	240	0,36	4	3,2	25	4,18
<i>Технологические показатели</i>						
Время электролиза, час	Количество циклов в сутки	Извлечение Ga, %	Расход электролита на 1 кг Ga м ³ /кг	Наработка Ga на 1 м ³ электролита, кг/сут.		
2,0–2,2	6	45	6,2	0,972		
<i>Энергетические показатели</i>						
Мощность электролизера кВт	Расход					
	количества электричества на 1 кг Ga, А · ч			электроэнергии, кВт · ч		
	электролизера	на 1 м ³ электролита	электролизера	на 1 м ³ электролита		
80	78,5	18,3	251	58,4		

На электролизере снижена поляризационная составляющая напряжения за счет: уменьшения средней плотности тока, достигнутого увеличением в 1,5 раза поверхности анодов; снижения межэлектродного расстояния; уменьшения пенообразования, повышающего активную составляющую сопротивления электролита. В результате на 16 % снизилось напряжение на ванне.

Выводы

Получаемый после очисток более чистый галлатно-цинкатный щелочной раствор позволяет снизить расход гранулированного алюминия при цементации до массового отношения Al : Ga = 1 : 1. Снижается также шлакообразование. В практике [1] на 1 кг получаемого галлия образуется не менее 2 кг шлака, а в данном решении – около 0,1 кг, т. е. в двадцать раз меньше.

Получаемые после очистки по данной технологии слитки галлия имеют общий состав контролируемых примесей (исключая примеси H, C, N, O) не более 0,00007, в том числе, масс. % · 10⁻⁸: Fe–2, Cu–5, Pb–4, Mn–1, In–2, Sn–2,5. Содержание галлия в слитке не менее 99,9999 %.

Эффективность предлагаемого решения проверена в промышленном масштабе. Чистота галлия, получаемого на промышленной установке завода ОАО «УАЗ-СУАЛ», составляла 5N (99,999 %), на растворах

ОАО «БАЗ-СУАЛ» с использованием предлагаемой технологии чистота металлического галлия составила 6N (99,99995 %), выпускаемый на заводе в г. Пинго (КНР) по нашей технологии (переданной по контракту) также соответствует марке 6N.

Библиографический список

1. Яценко С. П. Галлий: Технологии получения и применение жидких сплавов : монография / С. П. Яценко, Л. А. Пасечник, В. М. Скачков, Г. М. Рубинштейн. – Москва : РАН, 2020. – 344 с. – ISBN 978-5-907036-93-2.
2. U. S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, 2021. – 200 p.
3. Абдулвалиев Р. А., Ата Акчил, Ахмадиева Н. К. и др. // Комплексное использование минерального сырья. – 2016. – № 2 (297). – С. 76–82.
4. Дамаскин А. А., Печенкин М. Н., Кравченко В. Г., Ковалев Е. В. // В сборнике: Цветные металлы и минералы – 2017 Сборник докладов Девятого международного конгресса. – 2017. – С. 136–143.
5. Рубинштейн Г. М., Яценко С. П., Скачков В. М., Копырин В. С. // Сборник докладов 4-й международной научно-практической конференции «Эффективное и качественное снабжение и использование электроэнергии». – Екатеринбург: УрФУ, 2015. – С. 102–105.

УДК 669.23

К ПРОБЛЕМЕ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МПГ ИЗ МАТОЧНЫХ РАСТВОРОВ АФФИНАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Петров В. В.¹, Борисенков А. В.¹, Лобанов В. Г.²

¹ АО «УРАЛИНТЕХ», г. Екатеринбург, Россия

² Уральский федеральный университет

им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

Аннотация. Обсуждены проблемы переработки растворов, образующихся при аффинаже концентратов МПГ. Отмечены достоинства и недостатки известных методов. Показаны преимущества способа, основанного на цементации платиновых металлов электроотрицательными металлами. С целью повышения качества цементатов предложено проводить цементацию компактным железом с наложением переменного тока. Приведены результаты промышленной проверки усовершенствованной цементации.

Ключевые слова: концентрат, благородные металлы, цементация, железный порошок, раствор.

На аффинажных предприятиях при переработке богатого сырья драгоценных металлов в больших объемах образуются технологические промпродукты в виде растворов и осадков, содержащих цветные металлы.