

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **039484**(13) **B1**(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2022.02.01**

(21) Номер заявки  
**201990207**

(22) Дата подачи заявки  
**2017.07.07**

(51) Int. Cl. **C25C 3/08** (2006.01)  
**C25C 3/06** (2006.01)  
**C25C 3/16** (2006.01)  
**C25C 3/18** (2006.01)  
**C25C 7/02** (2006.01)  
**C25C 7/04** (2006.01)

**(54) УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОЛИЗЕР ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ АЛЮМИНИЯ**

(31) **62/359,833**

(32) **2016.07.08**

(33) **US**

(43) **2019.06.28**

(86) **PCT/US2017/041188**

(87) **WO 2018/009862 2018.01.11**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**АЛКОА ЮЭСЭЙ КОРП. (US)**

(72) Изобретатель:  
**Лю Синхуа (US)**

(74) Представитель:  
**Парамонова К.В., Угрюмов В.М.,  
Христофоров А.А., Гизатуллин Ш.Ф.,  
Гизатуллина Е.М., Глухарёва А.О.,  
Костюшенкова М.Ю., Лебедев В.В.,  
Лыу Т.Н., Строкова О.В., Осипенко  
Н.В. (RU)**

(56) **US-A1-20020166775**  
**US-B1-6436273**  
**US-A-4443313**  
**US-A-5938914**  
**US-A-4243502**

(57) Согласно некоторым вариантам осуществления электролизер содержит один анодный модуль, имеющий множество анодов; один катодный модуль, противоположный анодному модулю и имеющий множество вертикальных катодов, причем каждый из множества анодов и каждый из множества вертикальных катодов являются вертикально ориентированными и находятся на расстоянии друг от друга; резервуар электролизера; и дно электролизера, поддерживающее катодный модуль, причем дно электролизера содержит первую верхнюю поверхность, вторую верхнюю поверхность и канал, где множество вертикальных катодов проходит вверх от верхних поверхностей, при этом по меньшей мере один катодный блок расположен ниже множества вертикальных катодов, где первая верхняя поверхность и вторая верхняя поверхность выполнены с возможностью направления по существу всего жидкого алюминия, полученного в электролизере, в канал, при этом канал выполнен с возможностью приема жидкого алюминия с верхних поверхностей.

**039484**  
**B1**

**039484**  
**B1**

### Ссылка на родственные заявки

Настоящая заявка испрашивает приоритет предварительной заявки на патент США № 62/359833, поданной 08 июля 2016 г., которая во всей своей полноте включена в настоящий документ посредством ссылки.

### Область техники

Настоящее изобретение относится к устройству и способам для получения металлического алюминия и более конкретно к устройству и способам для получения металлического алюминия посредством электролиза оксида алюминия с применением выделяющих кислород анодов и смачиваемых алюминием катодов.

### Уровень техники

Электролизеры Холла-Эру используют для получения металлического алюминия в промышленном производстве алюминия из оксида алюминия, который растворяют в расплавленном электролите (криолитная "ванна") и восстанавливают постоянным электрическим током с применением расходоуемого угольного анода. В традиционных способах и устройствах для плавления оксида алюминия используют угольные аноды, которые медленно расходуются и производят CO<sub>2</sub>, представляющий собой "парниковый газ". Традиционные формы и размеры анода также ограничивают электролиз реагента (растворенного оксида алюминия), который перемещается к поверхности подошвы анода для осуществления реакции. Это увеличивает частоту явления, называемого термином "анодный эффект" и приводящего к образованию CF<sub>4</sub>, представляющего собой другой контролируемый "парниковый газ". Помимо традиционной промышленной плавильной печи для алюминия, из уровня техники также известны конструкции плавильных печей для получения алюминия, где аноды и катоды имеют вертикальную ориентацию, например, как раскрыто в патенте США № 5938914 (Dawless), озаглавленном "Конструкция ванны с циркулирующим расплавом соли для электролизера", который во всей своей полноте включен в настоящий документ посредством ссылки. Тем не менее в данной области сохраняется интерес к альтернативным конструкциям электродов и плавильных печей для получения алюминия.

### Сущность изобретения

Согласно некоторым вариантам осуществления электролизер содержит по меньшей мере один анодный модуль, имеющий множество анодов, причем каждый из множества анодов представляет собой выделяющий кислород электрод; по меньшей мере один катодный модуль, противоположный анодному модулю, причем по меньшей мере один катодный модуль содержит множество вертикальных катодов, где каждый из множества анодов и каждый из множества вертикальных катодов имеют поверхности, которые являются вертикально ориентированными и находятся на расстоянии друг от друга, причем катоды смачивает расплавленный алюминий, при этом по меньшей мере один катодный модуль присоединен ко дну электролизера; резервуар электролизера; электролит, расположенный в резервуаре электролизера; и дно электролизера, поддерживающее катодный модуль, причем дно электролизера имеет первую верхнюю поверхность, вторую верхнюю поверхность и канал, причем вверх от верхних поверхностей проходит множество вертикальных катодов, при этом в электролит полностью погружено множество вертикальных катодов, причем по меньшей мере один катодный блок расположен ниже множества вертикальных катодов, где первая верхняя поверхность и вторая верхняя поверхность выполнены с возможностью направления в канал по существу всего жидкого алюминия, полученного в электролизере, при этом канал выполнен с возможностью приема жидкого алюминия с верхних поверхностей.

Согласно некоторым вариантам осуществления верхняя поверхность дна электролизера имеет первую верхнюю поверхность и вторую верхнюю поверхность с каналом между первой верхней поверхностью и второй верхней поверхностью.

Согласно некоторым вариантам осуществления канал расположен на одинаковом расстоянии от первой боковой стенки и второй боковой стенки электролизера.

Согласно некоторым вариантам осуществления электролизер дополнительно содержит лоток, расположенный вблизи по меньшей мере одной из первой боковой стенки и второй боковой стенки электролизера.

Согласно некоторым вариантам осуществления первая верхняя поверхность наклонена от первой боковой стенки электролизера к каналу.

Согласно некоторым вариантам осуществления первая верхняя поверхность наклонена от поверхности вертикального катода ко второй верхней поверхности и при этом вторая верхняя поверхность наклонена от боковой стенки электролизера к каналу.

Согласно некоторым вариантам осуществления первая верхняя поверхность и вторая верхняя поверхность наклонены от боковых стенок электролизера к каналу.

Согласно некоторым вариантам осуществления первая верхняя поверхность содержит первую нисходящую линию, проходящую от поверхности вертикального катода ко второй верхней поверхности.

Согласно некоторым вариантам осуществления первая верхняя поверхность имеет угол наклона от 0 до 60° вдоль первой нисходящей линии от поверхности вертикального катода ко второй верхней поверхности.

Согласно некоторым вариантам осуществления вторая верхняя поверхность содержит вторую нис-

ходящую линию, проходящую от боковой стенки к каналу.

Согласно некоторым вариантам осуществления вторая верхняя поверхность имеет угол наклона от 0 до 60° вдоль второй нисходящей линии от боковой стенки к каналу.

Согласно некоторым вариантам осуществления дно электролизера содержит смачиваемый алюминием материал.

Согласно некоторым вариантам осуществления смачиваемый алюминием материал представляет собой по меньшей мере один материал из  $TiB_2$ ,  $ZrB_2$ ,  $HfB_2$ ,  $SrB_2$  или их комбинации.

Согласно некоторым вариантам осуществления канал имеет угол наклона от 0 до 15° вдоль третьей нисходящей линии от первой торцевой стенки ко второй торцевой стенке электролизера.

Согласно некоторым вариантам осуществления канал содержит смачиваемый алюминием материал.

Согласно некоторым вариантам осуществления смачиваемый алюминием материал представляет собой по меньшей мере один материал из  $TiB_2$ ,  $ZrB_2$ ,  $HfB_2$ ,  $SrB_2$  или их комбинации.

Согласно некоторым вариантам осуществления электролизер дополнительно содержит сборник вблизи нижней точки канала.

Согласно некоторым вариантам осуществления в способе получения металлического алюминия посредством электрохимического восстановления оксида алюминия подают электрический ток на множество вертикальных анодов в электролизере для получения алюминия, причем электролизер для получения алюминия содержит дно, имеющее верхнюю поверхность, множество вертикальных катодов, проходящих вверх от верхней поверхности и чередующихся с множеством вертикальных анодов, и канал, расположенный в дне электролизера, и при этом канал выполнен с возможностью сбора жидкого алюминия из электролизера; пропускают электрический ток через электролит, содержащийся в электролизере для получения алюминия; принимают электрический ток через множество вертикальных катодов и нижний катод; получают жидкий алюминий на наружных поверхностях катода, причем жидкий алюминий течет под действием силы тяжести от наружных поверхностей катода по верхней поверхности и в канал, образуя в результате этого текущий слой жидкого алюминия на верхней поверхности; и собирают жидкий алюминий из канала в сборник.

Согласно некоторым вариантам осуществления сбор жидкого алюминия предусматривает выпуск по меньшей мере некоторой части жидкого алюминия из сборника.

Согласно некоторым вариантам осуществления сбор жидкого алюминия предусматривает периодический выпуск жидкого алюминия в ходе эксплуатации электролизера для получения алюминия.

Согласно некоторым вариантам осуществления сбор жидкого алюминия предусматривает по существу непрерывный выпуск жидкого алюминия в ходе эксплуатации электролизера для получения алюминия.

### **Краткое описание чертежей**

Варианты осуществления настоящего изобретения, которые кратко представлены выше и более подробно обсуждаются ниже, можно понять посредством ссылки на иллюстративные варианты осуществления настоящего изобретения, представленные на прилагаемых чертежах. Однако следует отметить, что прилагаемые чертежи иллюстрируют только типичные варианты осуществления настоящего изобретения и, таким образом, их не следует рассматривать как ограничивающие объем настоящего изобретения, поскольку оно может допускать и другие варианты осуществления равной эффективности.

На фиг. 1А представлен частично схематический вид спереди поперечного сечения электролизера в соответствии с некоторыми вариантами осуществления настоящего изобретения.

На фиг. 1В представлен вид спереди части анодного модуля в соответствии с некоторыми вариантами осуществления настоящего изобретения.

На фиг. 1С представлен частично схематический вид сбоку поперечного сечения электролизера в соответствии с некоторыми вариантами осуществления настоящего изобретения.

На фиг. 1D представлен вид сбоку части анодного модуля в соответствии с некоторыми вариантами осуществления настоящего изобретения.

На фиг. 1E представлен схематический вид сверху электролизера в соответствии с некоторыми вариантами осуществления настоящего изобретения.

На фиг. 1F представлен частично схематический вид спереди поперечного сечения электролизера в соответствии с некоторыми вариантами осуществления настоящего изобретения.

На фиг. 2А-2В представлены схематические изображения поперечного сечения электролизера в соответствии с некоторыми вариантами осуществления настоящего изобретения.

Чтобы упростить понимание, насколько это возможно, одинаковые условные номера использованы для обозначения одинаковых элементов, которые являются общими для фигур. Фигуры не представлены в действительном масштабе и могут быть упрощены в целях ясности. Предусмотрено, что элементы и признаки одного варианта осуществления могут быть благоприятно внедрены в другие варианты осуществления без дополнительного описания.

### Подробное описание изобретения

Далее настоящее изобретение будет подробно разъяснено со ссылкой на прилагаемые фигуры, причем на всех фигурах аналогичные конструкции обозначены одинаковыми условными номерами. Представленные фигуры не должны обязательно соответствовать действительному масштабу, вместо этого поставлена общая цель иллюстрации принципов настоящего изобретения. Кроме того, некоторые элементы могут быть преувеличены, чтобы подробно представить детали конкретных компонентов.

Фигуры составляют часть настоящего описания, представляют иллюстративные варианты осуществления настоящего изобретения и иллюстрируют его различные предметы и признаки. Далее фигуры не должны обязательно соответствовать действительному масштабу; некоторые элементы могут быть преувеличены, чтобы подробно представить детали конкретных компонентов. Кроме того, любые измерения, спецификации и другие характеристики, представленные на фигурах, предназначены для целей иллюстрации, но не ограничения. Таким образом, конкретные структурные и функциональные подробности, раскрытые в настоящем документе, следует истолковывать не в качестве ограничения, но лишь в качестве представительной основы, позволяющей специалисту в данной области техники использовать настоящее изобретение различным образом.

Среди описанных преимуществ и усовершенствований другие задачи и преимущества настоящего изобретения становятся очевидными из следующего описания, рассматриваемого в сочетании с сопровождающими фигурами. В настоящем документе подробно раскрыты варианты осуществления настоящего изобретения; однако следует понимать, что раскрытые варианты осуществления представляют собой просто иллюстрации настоящего изобретения, которое может быть осуществлено в разнообразных формах. Кроме того, каждый из примеров, которые приведены в сочетании с разнообразными вариантами осуществления настоящего изобретения, представляют собой иллюстрацию, но не ограничение.

Во всем тексте описания и формулы настоящего изобретения следующие термины имеют значения, которые явно связаны с настоящим документом, если иные значения четко не определены контекстом. Выражения "согласно одному варианту осуществления" и "согласно некоторым вариантам осуществления", которые использованы в настоящем документе, не должны обязательно (хотя могут) означать одни и те же варианты осуществления. Кроме того, выражения "согласно другому варианту осуществления" и "согласно некоторым другим вариантам осуществления", которые использованы в настоящем документе, не должны обязательно (хотя могут) означать различные варианты осуществления. Таким образом, как описано ниже, разнообразные варианты осуществления настоящего изобретения могут быть легко объединены без выхода за пределы объема или отклонения от идеи настоящего изобретения.

Термин "на основе" не является исключительным и допускает в качестве основы дополнительные не описанные факторы, если иные условия четко не определены контекстом. Кроме того, во всем тексте настоящего описания слова в единственном числе означают и множественное число. Значение предлога "в" включает в себя "в" и "на".

При использовании в настоящем документе "смачиваемый алюминием" означает имеющий краевой угол смачивания жидким алюминием, составляющий не более чем  $90^\circ$ .

При использовании в настоящем документе "нисходящая линия" означает имеющую наибольший угол наклона линию на поверхности.

При использовании в настоящем документе "соотношение горизонтальных размеров" означает отношение наибольшего горизонтального размера электрода и наименьшего горизонтального размера электрода.

При использовании в настоящем документе "длинная горизонтальная ось" означает горизонтальную линию, параллельную направлению наибольшего горизонтального размера электрода.

При использовании в настоящем документе термин "короткая горизонтальная ось" означает линию, параллельную поперечному направлению электрода и проходящую в горизонтальной плоскости.

При использовании в настоящем документе "жидкий алюминий" означает металлический алюминий в состоянии выше его температуры плавления.

При использовании в настоящем документе "поверхность, имеющая угол наклона  $X^\circ$ " означает поверхность, которая образует с горизонтальной плоскостью угол, составляющий  $X^\circ$ . Например, поверхность, имеющая угол наклона  $90^\circ$ , представляет собой вертикальную поверхность.

Фиг. 1A-1E представляют электролизер (100) для получения алюминия или его части в соответствии с некоторыми вариантами осуществления настоящего изобретения. Согласно некоторым вариантам осуществления электролизер (100) для получения алюминия содержит дно (102) электролизера, боковые стенки (114, 115) и торцевые стенки (116, 117). Согласно некоторым вариантам осуществления дно (102) электролизера (100) для получения алюминия имеет по меньшей мере одну верхнюю поверхность, которая является наклонной для стока по меньшей мере в один канал (106). Согласно некоторым вариантам осуществления дно (102) электролизера (100) для получения алюминия может иметь множество верхних поверхностей, причем каждая верхняя поверхность является наклонной для стока в канал (106). Согласно некоторым вариантам осуществления дно (102) электролизера (100) для получения алюминия имеет первую верхнюю поверхность (150), вторую верхнюю поверхность (151) и расположенный между ними канал

(106). Согласно некоторым вариантам осуществления электролизер (100) для получения алюминия может содержать два или более каналов (106), образованных в дне (102) электролизера.

Согласно некоторым вариантам осуществления первая верхняя поверхность (150) наклонена от боковых стенок электролизера к каналу (106) и от вертикальных катодных пластин (108), присоединена ко дну (102) электролизера и проходит вертикально к аноду (124) ко второй верхней поверхности (151).

Согласно некоторым вариантам осуществления первая верхняя поверхность (150) дна (102) электролизера может иметь нисходящую линию, которая проходит от поверхности вертикальных катодных пластин (108) ко второй верхней поверхности (151).

Согласно некоторым вариантам осуществления вторая верхняя поверхность (151) дна (102) электролизера может быть наклонена к каналу (106). Согласно некоторым вариантам осуществления вторая верхняя поверхность (151) дна (102) электролизера может быть наклонена от боковых стенок к каналу (106). Согласно некоторым вариантам осуществления вторая верхняя поверхность (151) дна (102) электролизера может иметь нисходящую линию, которая проходит от боковых стенок к каналу (106). Согласно некоторым вариантам осуществления по меньшей мере одна из верхних поверхностей (150, 151) может смачиваться алюминием (т.е. содержать по меньшей мере один смачиваемый алюминием материал). Согласно некоторым вариантам осуществления в составе смачиваемого алюминием материала(ов) присутствует по меньшей мере один материал из  $TiB_2$ ,  $ZrB_2$ ,  $HfB_2$ ,  $SrB_2$ , углеродистых материалов и их комбинаций.

На фиг. 2А и 2В представлены схематические изображения поперечного сечения электролизера в соответствии с некоторыми вариантами осуществления настоящего изобретения. Согласно некоторым вариантам осуществления, которые представлены на фиг. 2А, первая верхняя поверхность (150) наклонена от вертикальных катодных пластин 108, которые присоединены ко дну (102) электролизера. Металлический алюминий, полученный посредством электрохимического восстановления оксида алюминия в электролизере, стекает вдоль вертикального катода (108) ко дну (102) электролизера. На фиг. 2А металлический алюминий стекает по наклонной первой верхней поверхности (150) ко второй наклонной верхней поверхности (151). Металлический алюминий протекает по второй наклонной верхней поверхности (151) в канал (106). Согласно некоторым вариантам осуществления, которые представлены на фиг. 2В, металлический алюминий стекает вдоль вертикального катода (108) на дно (102) электролизера, причем металлический алюминий протекает через вторую наклонную верхнюю поверхность (151) в канал (106).

Согласно некоторым вариантам осуществления канал (106) может быть расположен приблизительно на одинаковом расстоянии от противоположных боковых стенок (114, 115) электролизера (100) для получения алюминия. Согласно некоторым вариантам осуществления канал (106) выполнен с возможностью сбора жидкого алюминия, произведенного в электролизере (100) для получения алюминия. Согласно некоторым вариантам осуществления канал (106) может содержать смачиваемые алюминием материалы. Согласно некоторым вариантам осуществления в составе смачиваемого алюминием материала(ов) присутствует по меньшей мере один материал из  $TiB_2$ ,  $ZrB_2$ ,  $HfB_2$ ,  $SrB_2$ , углеродистых материалов и их комбинаций. Согласно одному варианту осуществления канал (106) наклонен от верхней точки до нижней точки. Согласно одному варианту осуществления электролизер для получения алюминия содержит сборник (128) расположенный вблизи нижней точки канала (106). Согласно одному варианту осуществления горизонтальный компонент нисходящей линии верхней поверхности образует угол от 60 до 120° с горизонтальным компонентом нисходящей линии канала.

Согласно некоторым вариантам осуществления электролизер (100) для получения алюминия может содержать лоток (103) вблизи первой боковой стенки (114). Согласно некоторым вариантам осуществления лоток (103) может быть выполнен с возможностью сбора шлама (например, нерастворенного оксида алюминия) из электролизера (100) для получения алюминия. Согласно некоторым вариантам осуществления электролизер (100) для получения алюминия может содержать лоток (103) вблизи второй боковой стенки (115). Согласно некоторым вариантам осуществления электролизер (100) для получения алюминия может содержать лоток (103) вблизи первой торцевой стенки (116). Согласно некоторым вариантам осуществления электролизер (100) для получения алюминия может содержать лоток (103) вблизи второй торцевой стенки (117).

Согласно некоторым вариантам осуществления первая верхняя поверхность (150) дна (102) электролизера имеет угол наклона от 0 до 60° вдоль нисходящей линии от первой боковой стенки ко второй верхней поверхности. Согласно некоторым вариантам осуществления первая верхняя поверхность (150) дна (102) электролизера имеет угол наклона от 0 до 45° вдоль нисходящей линии от первой боковой стенки ко второй верхней поверхности. Согласно некоторым вариантам осуществления первая верхняя поверхность (150) дна (102) электролизера имеет угол наклона от 0 до 40° вдоль нисходящей линии от первой боковой стенки ко второй верхней поверхности. Согласно некоторым вариантам осуществления первая верхняя поверхность (150) дна (102) электролизера имеет угол наклона от 0 до 35° вдоль нисходящей линии от первой боковой стенки ко второй верхней поверхности. Согласно некоторым вариантам осуществления первая верхняя поверхность (150) дна (102) электролизера имеет угол наклона от 0 до 30° вдоль нисходящей линии от первой боковой стенки ко второй верхней поверхности. Согласно некоторым вариантам осуществления первая верхняя поверхность (150) дна (102) электролизера имеет угол наклона









там осуществления вертикальные катоды могут иметь общую прямоугольную форму таким образом, что каждый катод имеет вторую длинную горизонтальную ось и вторую короткую горизонтальную ось. Например, согласно некоторым вариантам осуществления вертикальные катоды могут иметь соотношение горизонтальных размеров (ширина:длина) от 10:1 до 100:1. Согласно некоторым вариантам осуществления вертикальные катоды (108) могут быть ориентированы таким образом, что длинная горизонтальная ось является приблизительно параллельной нисходящей линии верхней поверхности, от которой она проходит.

Как упомянуто выше, согласно некоторым вариантам осуществления вертикальные катоды могут иметь соотношение горизонтальных размеров (ширина:длина) от 10:1 до 100:1. Согласно некоторым вариантам осуществления вертикальные катоды могут иметь соотношение горизонтальных размеров (ширина:длина) от 10:1 до 90:1. Согласно некоторым вариантам осуществления вертикальные катоды могут иметь соотношение горизонтальных размеров (ширина:длина) от 10:1 до 80:1. Согласно некоторым вариантам осуществления вертикальные катоды могут иметь соотношение горизонтальных размеров (ширина:длина) от 10:1 до 70:1. Согласно некоторым вариантам осуществления вертикальные катоды могут иметь соотношение горизонтальных размеров (ширина:длина) от 10:1 до 60:1. Согласно некоторым вариантам осуществления вертикальные катоды могут иметь соотношение горизонтальных размеров (ширина:длина) от 10:1 до 50:1. Согласно некоторым вариантам осуществления вертикальные катоды могут иметь соотношение горизонтальных размеров (ширина:длина) от 10:1 до 40:1. Согласно некоторым вариантам осуществления вертикальные катоды могут иметь соотношение горизонтальных размеров (ширина:длина) от 10:1 до 30:1. Согласно некоторым вариантам осуществления вертикальные катоды могут иметь соотношение горизонтальных размеров (ширина:длина) от 10:1 до 20:1.

Согласно некоторым вариантам осуществления вертикальные катоды могут иметь соотношение горизонтальных размеров (ширина:длина) от 20:1 до 100:1. Согласно некоторым вариантам осуществления вертикальные катоды могут иметь соотношение горизонтальных размеров (ширина:длина) от 30:1 до 100:1. Согласно некоторым вариантам осуществления вертикальные катоды могут иметь соотношение горизонтальных размеров (ширина:длина) от 40:1 до 100:1. Согласно некоторым вариантам осуществления вертикальные катоды могут иметь соотношение горизонтальных размеров (ширина:длина) от 50:1 до 100:1. Согласно некоторым вариантам осуществления вертикальные катоды могут иметь соотношение горизонтальных размеров (ширина:длина) от 60:1 до 100:1. Согласно некоторым вариантам осуществления вертикальные катоды могут иметь соотношение горизонтальных размеров (ширина:длина) от 70:1 до 100:1. Согласно некоторым вариантам осуществления вертикальные катоды могут иметь соотношение горизонтальных размеров (ширина:длина) от 80:1 до 100:1. Согласно некоторым вариантам осуществления вертикальные катоды могут иметь соотношение горизонтальных размеров (ширина:длина) от 90:1 до 100:1.

Согласно некоторым вариантам осуществления электролизер (100) для получения алюминия может содержать по меньшей мере один катодный блок (112), расположенный ниже верхней поверхности. Согласно некоторым вариантам осуществления катодный блок (112) может находиться в электрическом соединении с множеством вертикальных катодов (108). Согласно некоторым вариантам осуществления катодный блок (112) может составлять одно целое с дном (102) электролизера (100) для получения алюминия. Согласно некоторым вариантам осуществления катодный блок (112) может быть изготовлен как отдельный компонент от дна (102) электролизера (100) для получения алюминия. Согласно некоторым вариантам осуществления в ходе эксплуатации электролизера (100) для получения алюминия ток может проходить от множества вертикальных катодов (108) в катодный блок (112) и из электролизера (100) для получения алюминия.

Согласно некоторым вариантам осуществления электролизер (100) для получения алюминия может содержать по меньшей мере один анодный модуль (120). Согласно некоторым вариантам осуществления анодный модуль (120) содержит основу (122) анода, множество вертикальных анодов (124) и штангу (126) анода. Согласно некоторым вариантам осуществления анод представляет собой инертный анод. Некоторые неограничительные примеры составов инертных анодов представляют собой керамики, металлы, керметы и/или их комбинации. Некоторые неограничительные примеры составов инертных анодов представлены в патентах США № 4374050, 4374761, 4399008, 4455211, 4582585, 4584172, 4620905, 5279715, 5794112 и 5865980, уступленных правопреемнику настоящей заявки. Согласно некоторым вариантам осуществления анод представляет собой выделяющий кислород электрод. Выделяющий кислород электрод представляет собой электрод, который производит кислород в ходе электролиза. Согласно некоторым вариантам осуществления катод представляет собой смачиваемый катод. Согласно некоторым вариантам осуществления смачиваемые алюминием материалы представляют собой материалы, имеющие с расплавленным алюминием краевой угол смачивания, составляющий не более чем  $90^\circ$  в расплавленном электролите. Некоторые неограничительные примеры смачиваемых материалов могут содержать один или несколько материалов из  $TiB_2$ ,  $ZrB_2$ ,  $HfB_2$ ,  $SrB_2$ , углеродистых материалов и их комбинаций.

Согласно некоторым вариантам осуществления множество вертикальных анодов (124) проходит вниз от основы (122) анода таким образом, что вертикальные аноды (124) чередуются с вертикальными катодами (108). Согласно некоторым вариантам осуществления во множестве вертикальных анодов (124)

могут присутствовать  $TiB_2$ ,  $ZrB_2$ ,  $HfB_2$ ,  $SrB_2$ , углеродистые материалы и их комбинации. Согласно некоторым вариантам осуществления штанга анода находится в электрическом соединении с множеством вертикальных анодов. Согласно некоторым вариантам осуществления штанга (126) анода выполнена с возможностью присоединения к внешнему источнику электроэнергии для подачи тока в электролизер. Согласно некоторым вариантам осуществления анодный модуль (120) может быть ориентирован вертикально вверх или вниз. В данном отношении согласно некоторым вариантам осуществления перекрывание вертикальных анодов (124) с вертикальными катодами (108) можно регулировать посредством перемещения анодного модуля (120) вверх или вниз.

Согласно некоторым вариантам осуществления анодный модуль (120) подвержен над катодным модулем (130). Согласно некоторым вариантам осуществления катодный модуль (130) фиксированно присоединен ко дну электролизера (100) для получения алюминия. Согласно некоторым вариантам осуществления вертикальные катоды (108) поддерживает основа катода, которая находится в резервуаре (132) электролизера. Резервуар (132) электролизера способен удерживать ванну расплавленного электролита. Согласно некоторым вариантам осуществления анодный модуль (120) можно поднимать и опускать в вертикальном направлении относительно положения катодного модуля (130).

Противоположные вертикально ориентированные электроды 108, 124 позволяют производимой вблизи газовой фазе ( $O_2$ ) отделяться от их и физически уходить от анода 124 вследствие плавучести пузырьков газообразного  $O_2$  в расплавленном солевом электролите. Поскольку пузырьки свободно выходят с поверхностей анода 124, они не накапливаются на поверхностях анода с образованием электрически изолирующего/резистивного слоя, обеспечивающего накопление электрического потенциала, приводящего к высокому сопротивлению и высокому расходу энергии. Аноды 124 могут быть расположены в рядах или столбцах, где между ними присутствуют или отсутствуют поперечные просветы или зазоры, создающие канал, который усиливает движение расплавленного электролита, приводя к улучшению массопереноса и позволяя растворенному оксиду алюминия достигать поверхностей анодного модуля 120.

Согласно некоторым вариантам осуществления в способе применения настоящего изобретения подают электрический ток на множество вертикальных анодов и пропускают электрический ток через электролит, содержащийся в электролизере для получения алюминия, причем раствор содержит  $Al_2O_3$ , растворенный по меньшей мере в одном электролите. Согласно некоторым вариантам осуществления в способе принимают электрический ток через множество вертикальных катодов и нижний катод и получают, вследствие стадии пропускания тока, жидкий алюминий из  $Al_2O_3$  на наружных поверхностях катода. Согласно некоторым вариантам осуществления жидкий алюминий, полученный на наружных поверхностях катода, имеет плотность, которая составляет более чем плотность электролита. Таким образом, согласно некоторым вариантам осуществления жидкий алюминий течет под действием силы тяжести от наружных поверхностей катода по верхней поверхности дна электролизера и в канал, создавая в результате этого текущий слой жидкого алюминия по верхней поверхности.

Как описано выше, согласно некоторым вариантам осуществления канал может быть наклонен в сборник (128). Таким образом, согласно некоторым вариантам осуществления в способе можно собирать жидкий алюминий в сборник (128). Согласно некоторым вариантам осуществления способа можно также выпускать по меньшей мере некоторую часть жидкого алюминия из сборника (128). Согласно некоторым вариантам осуществления стадия выпуска может происходить периодически в ходе эксплуатации электролизера для получения алюминия. Согласно некоторым вариантам осуществления стадия выпуска может происходить в практически непрерывном режиме в ходе эксплуатации электролизера для получения алюминия.

Как описано выше, согласно некоторым вариантам осуществления анодный модуль (120) можно перемещать в вертикальном направлении вверх или вниз и в результате этого регулировать перекрывание вертикальных анодов (124) с вертикальными катодами (108). Согласно некоторым вариантам осуществления электрическое сопротивление между вертикальными анодами (124) и вертикальными катодами (108) может зависеть от перекрывания по меньшей мере частично. Согласно некоторым вариантам осуществления электрический ток между вертикальными анодами (124) и вертикальными катодами (108) может производить тепло в электролизере. Согласно некоторым вариантам осуществления количество производимого тепла может зависеть по меньшей мере частично от электрического сопротивления между вертикальными анодами (124) и вертикальными катодами (108). Таким образом, посредством вертикального перемещения анодного модуля (120) вверх и/или вниз относительно вертикальных катодов (108) можно регулировать температуру раствора, содержащегося в электролизере для получения алюминия.

Несмотря на описание ряда вариантов осуществления настоящего изобретения следует понимать, что указанные варианты осуществления представляют собой лишь иллюстрации, но не ограничения, и что многочисленные модификации могут быть очевидными для обычных специалистов в данной области техники. Кроме того, различные стадии могут быть осуществлены в любой желательной последовательности (причем по желанию могут быть введены любые стадии и/или могут быть исключены любые стадии).

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Электролизер (100), содержащий резервуар (132) электролизера, выполненный с возможностью удержания ванны расплавленного электролита, расположенной в резервуаре электролизера;
  - по меньшей мере один анодный модуль (120), имеющий множество вертикально-ориентированных анодов (124), проходящих вниз от основы (122) анода и выполненных с возможностью перемещения вверх и вниз в резервуар (132) электролизера, причем каждый из множества вертикально-ориентированных анодов (124) представляет собой выделяющий кислород электрод;
  - по меньшей мере один катодный модуль (130), расположенный в резервуаре (132) электролизера противоположно анодному модулю (120), причем по меньшей мере один катодный модуль (130) содержит множество вертикально-ориентированных катодов (108), выполненных с возможностью чередования с множеством вертикально-ориентированных анодов (124), где по меньшей мере один анодный модуль (120) расположен в резервуаре (132) электролизера,
  - причем каждый из множества вертикально-ориентированных анодов (124) и каждый из множества вертикально-ориентированных катодов (108) находятся на расстоянии друг от друга,
  - при этом вертикально-ориентированные катоды (108) выполнены с возможностью смачивания расплавленным алюминием; и
  - дно (102) резервуара (132) электролизера, поддерживающее по меньшей мере один катодный модуль (130), причем каждый из вертикально-ориентированных катодов (108) по меньшей мере одного катодного модуля (130) присоединен ко дну (102) электролизера (100), при этом дно электролизера (102) содержит смачиваемый алюминием материал;
  - причем дно (102) электролизера состоит из первой части (150) верхней поверхности, второй части (151) верхней поверхности и канала (106),
  - причем множество вертикально-ориентированных катодов проходит вверх от первой и второй частей (150, 151) верхней поверхности,
  - причем множество вертикально-ориентированных катодов (108) выполнено таким образом, что во время работы они находятся в состоянии полного погружения в ванну расплавленного электролита,
  - причем по меньшей мере один катодный блок (112) расположен ниже множества вертикально-ориентированных катодов (108),
  - причем первая часть (150) и вторая часть (151) верхней поверхности дна (102) электролизера выполнены с возможностью направления в канал (106) под действием силы тяжести по существу всего жидкого алюминия, полученного в электролизере,
  - при этом канал (106) содержит смачиваемый алюминием материал и выполнен с возможностью приема жидкого алюминия с частей (150, 151) верхней поверхности.
2. Электролизер (100) по п.1, в котором канал (106) расположен между первой и второй частями (150, 151) верхней поверхности.
3. Электролизер (100) по п.2, в котором канал (106) расположен на одинаковом расстоянии от первой боковой стенки (115) и второй боковой стенки (114) электролизера.
4. Электролизер (100) по п.3, дополнительно содержащий лоток (103), расположенный вблизи по меньшей мере одной из первой боковой стенки (115) или второй боковой стенки (114) электролизера.
5. Электролизер (100) по п.3, в котором первая часть (150) верхней поверхности наклонена от поверхности вертикально-ориентированного катода ко второй части (151) верхней поверхности, при этом вторая часть (151) верхней поверхности наклонена от боковой стенки электролизера к каналу (106).
6. Электролизер (100) по п.5, в котором первая и вторая части (150, 151) верхней поверхности наклонены от боковых стенок электролизера к каналу (106).
7. Электролизер (100) по п.5, в котором первая часть (150) верхней поверхности содержит первую нисходящую линию, проходящую от поверхности вертикально-ориентированного катода (108) ко второй части (151) верхней поверхности.
8. Электролизер (100) по п.7, в котором первая часть (150) верхней поверхности имеет угол наклона от 0 до 60° вдоль первой нисходящей линии от поверхности вертикально-ориентированного катода ко второй части (151) верхней поверхности.
9. Электролизер (100) по п.8, в котором вторая часть (151) верхней поверхности содержит вторую нисходящую линию, проходящую от боковой стенки к каналу (106).
10. Электролизер (100) по п.9, в котором вторая часть (151) верхней поверхности имеет угол наклона от 0 до 60° вдоль второй нисходящей линии от боковой стенки к каналу (106).
11. Электролизер (100) по любому из пп.1-10, в котором смачиваемый алюминием материал дна (102) электролизера представляет собой по меньшей мере один материал из  $TiB_2$ ,  $ZrB_2$ ,  $HfB_2$ ,  $SrB_2$  или их комбинации.
12. Электролизер (100) по любому из пп.1-11, в котором канал (106) имеет угол наклона от 0 до 15° вдоль третьей нисходящей линии от первой торцевой стенки до второй торцевой стенки электролизера.
13. Электролизер (100) по любому из пп.1-12, в котором смачиваемый алюминием материал

канала (106) представляет собой по меньшей мере один материал из  $TiB_2$ ,  $ZrB_2$ ,  $HfB_2$ ,  $SrB_2$  или их комбинации.

14. Электролизер (100) по любому из пп.1-13, дополнительно содержащий сборник (128) вблизи нижней точки канала (106).

15. Способ получения металлического алюминия посредством электрохимического восстановления оксида алюминия с использованием электролизера (100) по любому из пп.1-14, в котором

подают электрический ток на множество вертикально-ориентированных анодов в электролизере (100);

пропускают электрический ток через ванну расплавленного электролита, содержащуюся в резервуаре электролизера (100);

принимают электрический ток через множество вертикально-ориентированных катодов (108) и по меньшей мере один катодный блок (112);

получают жидкий алюминий на наружных поверхностях катодов, причем жидкий алюминий течет под действием силы тяжести от наружных поверхностей катода по частям (150, 151) верхней поверхности и в канал (106), образуя в результате этого текущий слой жидкого алюминия на частях (150, 151) верхней поверхности; и

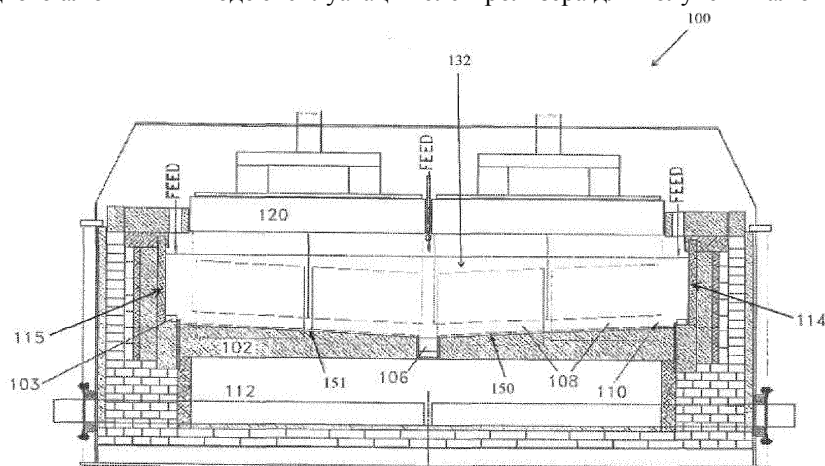
собирают жидкий алюминий из канала (106).

16. Способ по п.15, в котором электролизер дополнительно содержит сборник (128) вблизи нижней точки канала (106), причем сбор жидкого алюминия из канала (106) дополнительно содержит сбор жидкого алюминия из канала (106) в сборник (128).

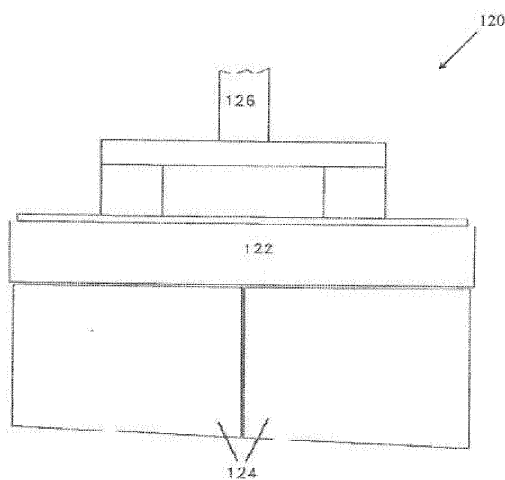
17. Способ по п.16, в котором сбор жидкого алюминия предусматривает выпуск по меньшей мере некоторой части жидкого алюминия из сборника (128).

18. Способ по любому из пп.15-17, в котором сбор жидкого алюминия предусматривает периодический выпуск жидкого алюминия в ходе эксплуатации электролизера для получения алюминия.

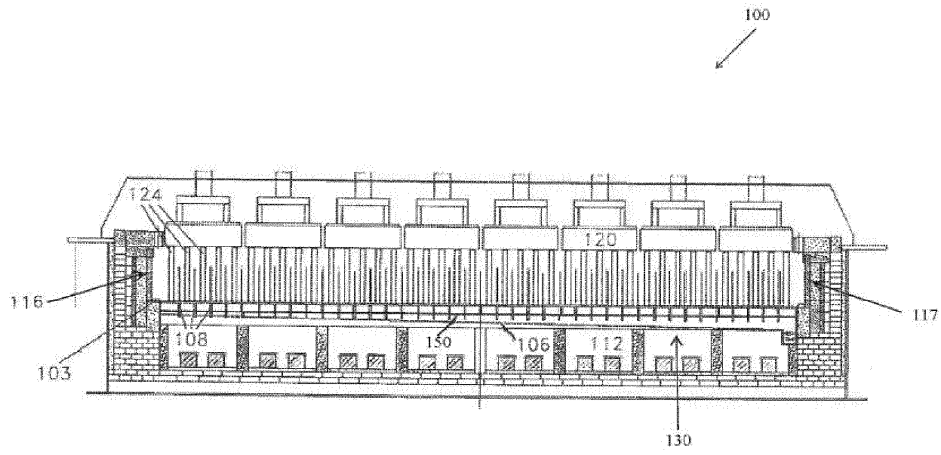
19. Способ по любому из пп.15-17, в котором сбор жидкого алюминия предусматривает непрерывный выпуск жидкого алюминия в ходе эксплуатации электролизера для получения алюминия.



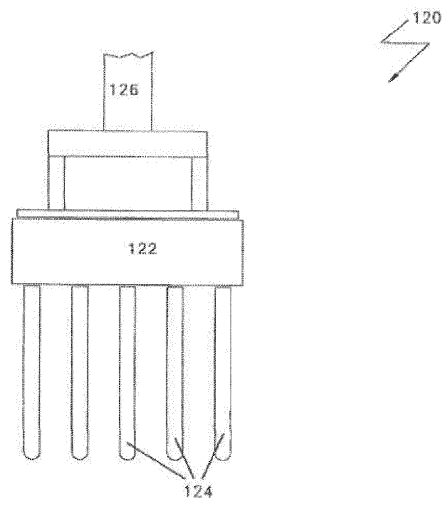
Фиг. 1А



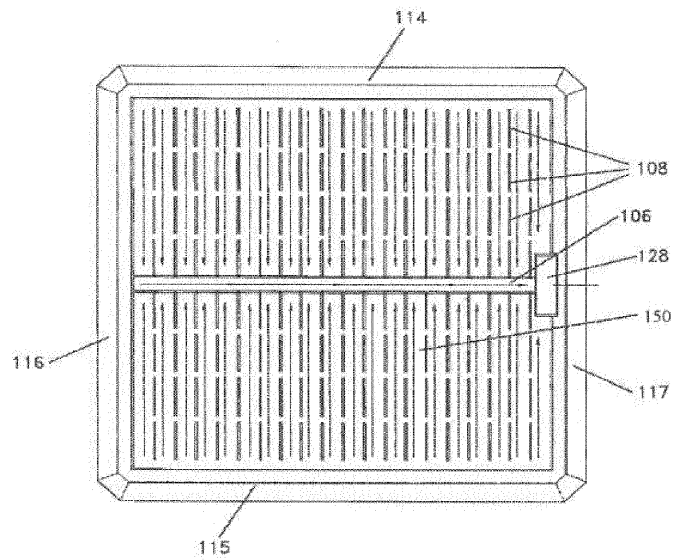
Фиг. 1В



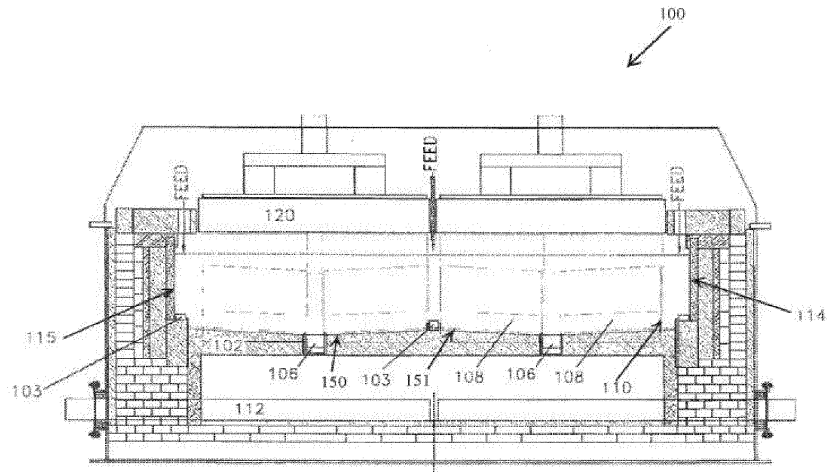
Фиг. 1С



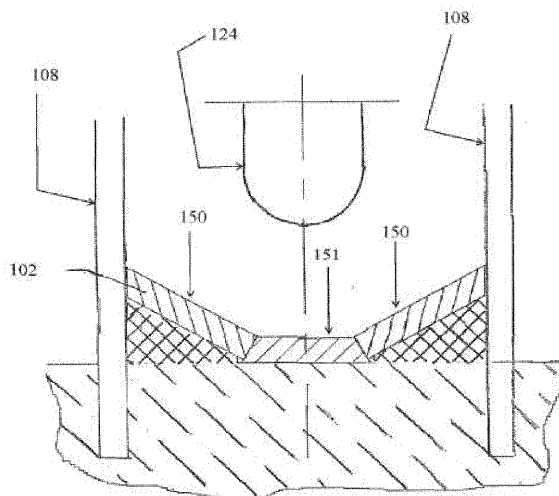
Фиг. 1D



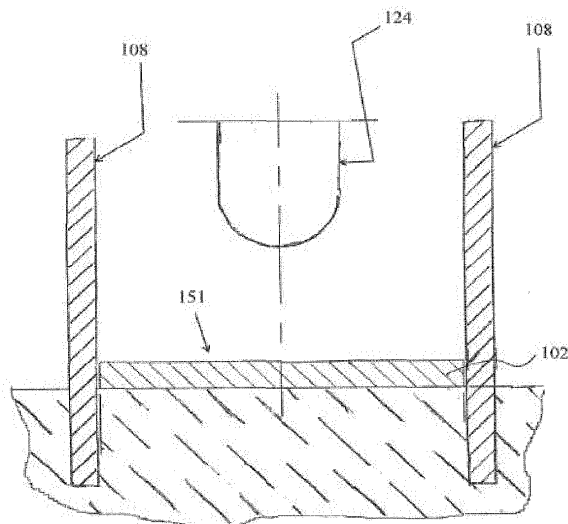
Фиг. 1E



Фиг. 1F



Фиг. 2A



Фиг. 2B

