

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **036082**

(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2020.09.23

(51) Int. Cl. **C25C 3/16 (2006.01)**

(21) Номер заявки
201791072

(22) Дата подачи заявки
2015.06.08

(54) КАТОДНЫЙ ТОКОВЫЙ КОЛЛЕКТОР ДЛЯ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРА ХОЛЛА-ЭРУ

(31) 01778/14

(56) WO-A1-0163014

(32) 2014.11.18

US-A-3867562

(33) CH

US-A1-2014069820

(43) 2017.12.29

US-A-2593751

(86) PCT/IB2015/054325

US-A-3156639

(87) WO 2016/079605 2016.05.26

US-A-3551319

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
НОВАЛУМ СА (CH)

(72) Изобретатель:
**Фон Кенель Рене (CH), Спинетти
Гуальтьеро (IT)**

(74) Представитель:
**Хмара М.В., Пантелеев А.С., Осипов
К.В., Ильмер Е.Г., Липатова И.И.,
Новоселова С.В., Дощечкина В.В.
(RU)**

(57) Настоящее изобретение относится к электролизеру (1) для производства алюминия (2), содержащему конструктивные модификации (13, 14, 15, 16) коллекторных стержней под катодом (4), в частности медный коллекторный стержень, удерживаемый в U-образном профиле или напрямую заделанный в катод. Это обеспечивает оптимальное распределение тока в жидком алюминии (2) и/или внутри угольного катода, что обеспечивает возможность функционирования электролизера при низких напряжениях. Низкое напряжение обусловлено или небольшим межэлектродным расстоянием (МЭР), и/или небольшим падением напряжения внутри угольного катода между жидким металлом и концом коллекторного стержня.

B1

036082

036082

B1

Область техники

Настоящее изобретение относится к производству алюминия с использованием процесса Холла-Эру, в частности к оптимизации коллекторных стержней для уменьшения затрат электроэнергии, максимизации выхода по току и увеличения производительности электролизера.

Уровень техники

Алюминий производят в ходе процесса Холла-Эру электролизом глинозема, растворенного в электролитах на основе криолита, при температуре до 1000°C. Типовой электролизер Холла-Эру состоит из стального кожуха, оснащенного изолирующей футеровкой из огнеупорных материалов, и угольного катода, удерживающего жидкий металл. Катод образован заданным количеством катодных блоков, в которые своим основанием заделаны коллекторные стержни для отвода тока, протекающего через электролизер.

В многочисленных патентных публикациях были предложены различные подходы для минимизации падения напряжения между жидким металлом и концом коллекторных стержней. В документе WO 2008/062318 раскрыто использование материала с высокой электропроводностью в дополнение к существующему стальному коллекторному стержню, причем в данном документе приведены ссылки на патентные публикации WO 02/42525, WO 01/63014, WO 01/27353, WO 2004/031452 и WO 2005/098093, из которых известны технические решения, использующие медные вставки внутри стальных коллекторных стержней. В соответствии с патентом США № 4795540 катод, а также коллекторные стержни разделены на секции. В документах WO 2001/27353 и WO 2001/063014 внутри коллекторных стержней использованы материалы с высокой электропроводностью. Согласно документу US 2006/0151333 в коллекторных стержнях используют различную электропроводность. В документе WO 2007/118510 предлагают увеличить поперечное сечение коллекторного стержня при движении к центру электролизера для изменения распределения тока у поверхности катода. В документах US 5976333 и US 6231745 описано использование медной вставки внутри стального коллекторного стержня. В документе EP 2133446 A1 раскрыта система катодных блоков для модификации геометрии поверхности катода с целью стабилизации волн у поверхности металлического слоя и соответственно сведения к минимуму расстояния между анодом и катодом, т.е. межэлектродного расстояния (МЭР).

В документе WO 2011/148347 раскрыт угольный катод электролизера для производства алюминия, который содержит вставки с высокой электропроводностью, герметично упакованные в оболочки и расположенные внутри угольного катода. Эти вставки меняют электропроводность катода, но не участвуют в токосъеме и отводе тока с помощью коллекторных стержней.

Электропроводность расплавленного криолита является очень низкой, как правило $220 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$, при этом МЭР не может быть существенно уменьшено из-за образования магнитогидродинамической неустойчивости, которая приводит к волнам на границе металл-ванна (металл - электролит на основе криолита). Наличие волн приводит к уменьшению выхода по току указанного процесса и не позволяет снизить затраты электроэнергии ниже критического значения. В среднем в алюминиевой промышленности, плотность тока такова, что падение напряжения на расстоянии МЭР составляет минимум 0,3 В/см. Если МЭР составляет от 3 до 5 см, то падение напряжения на МЭР, как правило, равно от 1,0 до 1,5 В. Магнитное поле внутри жидкого металла возникает в результате токов, протекающих в наружных соединительных шинах, и внутренних токов. Плотность внутреннего локального тока внутри жидкого металла в основном зависит от геометрии катода и его локальной электропроводности. Магнитное поле и плотность тока приводят к созданию поля силы Лоуренса, которое само по себе создает контур металлической поверхности и поле скоростей металла и задает базовые условия для магнитогидродинамической устойчивости электролизера. Устойчивость электролизера может быть выражена в виде способности уменьшения МЭР без создания неустойчивых волн у поверхности металлического слоя. Уровень устойчивости зависит от плотности тока и полей электромагнитной индукции, а также от формы ванны жидкого металла. Форма ванны зависит от поверхности катода и формы литника. Известные технические решения отвечают заданному уровню требуемого магнитогидродинамического состояния для обеспечения оптимальной устойчивости электролизера (с низким МЭР), однако технические решения, использующие медные вставки, являются очень дорогими и часто требуют выполнения обработки высокой сложности.

Сущность изобретения

Настоящее изобретение относится к катодному токовому коллектору для угольного катода электролизера Холла-Эру для производства алюминия, причем катодный токовый коллектор такого типа содержит центральную секцию, которая включает в себя по меньшей мере один стержень из металла с высокой электропроводностью, который при использовании расположен под угольным катодом, причем указанный металл с высокой электропроводностью имеет электропроводность, превышающую электропроводность стали.

Согласно настоящему изобретению соединительный стержень с высокой электропроводностью содержит центральную часть, расположенную под центральной частью угольного катода, обычно непосредственно расположенного в катодном пазе, или сквозном отверстии, или с использованием U-образного профиля в качестве опоры, причем указанная центральная часть соединительного стержня с высокой электропроводностью имеет, по меньшей мере, верхнюю наружную поверхность, находящуюся в непосредственном электрическом контакте с угольным катодом или в контакте с угольным катодом

через электропроводящую границу раздела, образованную электропроводящим клеем, и/или электропроводящей гибкой фольгой, или листом, нанесенным на поверхность соединительного стержня с высокой электропроводностью. Соединительный стержень с высокой электропроводностью содержит одну или две наружные части, расположенные рядом с указанной центральной частью с ее одной или обеих сторон, и выводную концевую часть или части, проходящие наружу от указанной наружной части (частей). Кроме того, каждая такая выводная концевая часть (части) коллекторного стержня с высокой электропроводностью электрически соединена (соединены) последовательно со стальным проводящим стержнем, имеющим большую площадь поперечного сечения по сравнению с указанным соединительным стержнем с высокой электропроводностью, причем указанный стальной проводящий стержень (стержни) проходит наружу для соединения с наружной токоподводящей соединительной шиной.

Стержень с высокой электропроводностью может быть заделан в катодный паз или сквозное отверстие с или без U-образной балки. Однако электрический контакт может быть обеспечен по всей заделанной области, в частности по верхней части и боковым сторонам стержня с высокой электропроводностью.

Предпочтительно металл с высокой электропроводностью выбран из группы, включающей в себя медь, алюминий, серебро и их сплавы, предпочтительно медь или медный сплав.

Поверхность верхней части и опционально боковых сторон металла с высокой электропроводностью может быть шероховатой или иметь выемки, такие как канавки, или выступы, такие как ребра, для улучшения контакта с угольным катодом.

Если между металлом с высокой электропроводностью и угольным катодом имеется проводящая граница раздела, то такая проводящая граница раздела может быть выбрана, например, из металлической ткани, сетки или пены, предпочтительно из меди, медного сплава, никеля или никелевого сплава, или графитовой фольги или ткани, или проводящего слоя клея, или их комбинации. Предпочтительно проводящая граница раздела содержит углеродный электропроводящий клей, получаемый смешиванием твердого углеродсодержащего компонента с жидким компонентом двухкомпонентного отверждаемого клея.

В зависимости от конструкции электролизера боковые стороны и опционально основание стержня из металла с высокой электропроводностью могут непосредственно или косвенно контактировать с набивной подовой пастой или огнеупорными кирпичами, находящимися в контакте с угольным катодом.

Стержень из металла с высокой электропроводностью может быть подвержен механической обработке для создания по меньшей мере одного паза или может быть оснащен другим пространством, причем указанный паз или пространство расположены так, чтобы компенсировать тепловое расширение стержня в катоде за счет обеспечения возможности расширения металла с высокой электропроводностью вовнутрь в пространство, обеспечиваемое пазом (пазами).

Выводные концевые части стержня из металла с высокой электропроводностью предпочтительно электрически последовательно соединены со стальным проводящим стержнем, образующим стыковочный переходник, в котором стержень из металла с высокой электропроводностью и стальной проводящий стержень перекрывают друг друга частично и скреплены друг с другом сваркой, с помощью электропроводящего клея и/или путем приложения механического давления, например посредством зажима для обеспечения посадки с натягом или переходника, зафиксированного за счет теплового расширения. Альтернативно зафиксированные концевые части навинчены друг на друга. Стальные стержни, формирующие стыковочный переходник, проходят наружу для соединения с сетью соединительных шин за пределами электролизера, причем проходящие наружу концевые секции стальных стержней имеют увеличенное поперечное сечение для уменьшения падения напряжения и обеспечения теплового баланса электролизера.

Угольный катод может электрически контактировать с открытой верхней наружной поверхностью металла с высокой электропроводностью под действием веса угольного катода на металл с высокой электропроводностью и за счет управляемого теплового расширения металла с высокой электропроводностью.

Упомянутая выше наружная часть (части) соединительного стержня с высокой электропроводностью, как правило, проходят под или через электропроводящую часть основания электролизера, причем в этом случае эти наружные части соединительного стержня с высокой электропроводностью электрически изолированы от электропроводящей части основания электролизера, в частности от боковых частей угольного катода или набивной подовой пасты. Некоторые секции стержня из металла с высокой электропроводностью удобно изолированы от электропроводящей части основания электролизера за счет того, что они заключены в изоляционный материал, в частности заключены в один или несколько листов изоляционного материала, например глинозема, намотанных вокруг указанной наружной части (частей), или в слой электроизоляционного клея, или цемента, или любого другого изоляционного материала, способного выдерживать температуры до 1200°C.

В конкретных вариантах осуществления настоящего изобретения стержень из металла с высокой электропроводностью в центральной секции катодного токового коллектора удерживается в U-образном профиле, изготовленном из материала, который сохраняет прочность при температурах, действующих в катоде электролизера Холла-Эру. Такой U-образный профиль может иметь основание под указанным стержнем, на которое опирается указанный стержень, опционально по меньшей мере одно вертикальное ребро, и боковые секции, проходящие по боковым сторонам и отстоящие от или контактирующие с бо-

ковыми сторонами стержня с высокой электропроводностью. Указанный стержень с высокой электропроводностью имеет по меньшей мере верхнюю часть и опционально также боковые части, свободные от U-образного профиля, для обеспечения возможности контакта металла с высокой электропроводностью с угольным катодом непосредственно или через проводящую границу раздела. Открытая верхняя часть и предпочтительно также боковые стороны металла с высокой электропроводностью контактируют с угольным катодом непосредственно или через проводящую границу раздела. Указанный U-образный профиль, как правило, изготовлен из металла, например стали, или из цемента, или керамики.

Настоящее изобретение также относится к электролизеру Холла-Эру для производства алюминия, оснащенный катодным токовым коллекторным узлом, раскрытым выше.

Дополнительные пояснения настоящего изобретения

Стержень из металла с высокой электропроводностью в центральной секции катодного токового коллектора находится в непосредственном электрическом контакте с угольным катодом или может быть приклеен к угольному катоду. Он может быть, например, заделан в канавку или отверстие, в котором он может быть либо приклеен, либо зафиксирован с помощью гибкой фольги или листа, нанесенного на поверхность соединительного стержня с высокой электропроводностью. Клей, как правило, представляет собой электропроводящий двухкомпонентный клей на углеродной основе.

Соединительный стержень с высокой электропроводностью содержит наружные части, расположенные за пределами угольного катода для соединения указанного соединителя с высокой электропроводностью с традиционным стальным стержнем (стыковочным переходником) для отвода тока за пределы электролизера.

В зависимости от конструкции катода стержень с высокой электропроводностью может быть скомпонован в виде одного стержня или в виде нескольких стержней, расположенных параллельно с образованием зазора, обеспечивающего возможность теплового расширения.

В одном из вариантов части катодного коллекторного стержня, расположенные рядом с и за пределами его центральной секции, поддерживаемой U-образным профилем, электрически изолированы так, чтобы быть электрически изолированными от электропроводящих компонентов катода (в частности, от боковых частей угольного катода или набивной подовой пасты), то есть когда токовый коллектор установлен в электролизер.

Металл с высокой электропроводностью имеет электропроводность, превышающую электропроводность стали (которая была использована в известных из уровня техники электролизерах в виде трубчатой оболочки, вмещающей в себя металл с высокой электропроводностью, например, медь), и предпочтительно выбран из группы, включающей в себя медь, алюминий, серебро и их сплавы, между этими металлами и, возможно, с другими металлическими сплавами. Металл с высокой электропроводностью предпочтительно представляет собой медь или медный сплав.

Как упомянуто выше, предпочтительно поверхность открытой верхней свободной части и боковых сторон металла с высокой электропроводностью является шероховатой для улучшения контакта с угольным катодом. Например, ей можно придать шероховатость посредством механической обработки. Типичная шероховатость поверхности задана средним расстоянием от выступа до основания профиля шероховатости (поперечное сечение поверхности). Возможно использование величины шероховатости в диапазоне от 0,2 до 4 мм (или выше). Шероховатая поверхность может быть получена с помощью шлифовального инструмента (для низких величин) или в ходе механической операции, такой как механическая обработка, тиснение, гравирование или накатка. Шероховатость поверхности может быть скомбинирована с ребрами, гребнями или канавками для увеличения механической фиксации.

В случае U-образного профиля, верхние свободные части металла с высокой электропроводностью могут быть плоскими и расположены заподлицо с открытой верхней частью U-образного профиля, или они могут выдаваться из центральной части и/или из верхней части U-образного профиля так, чтобы иметь выступающие верхние части и боковые стороны любой формы (а именно скругленные, или прямоугольные, или ребристые для улучшения электрического контакта и механической фиксации) в непосредственном контакте с угольным катодом или через проводящую границу раздела.

Стержень, заделанный в основание катода, с или без U-образного профиля, или балки, или другой опоры, изготовлен, например, из меди до наружной боковой передней поверхности катодного блока. Из этого положения медный стержень электрически последовательно соединен со стыковочным переходником. Стыковочный переходник представляет собой последнюю концевую секцию катодного стержня. Обычно он выходит из каркаса электролизера и выступает в качестве стыковочного переходника между медным стержнем внутри электролизера и соединительными шинами за пределами каркаса электролизера. Стыковочный переходник обеспечивает возможность реализации новой концепции в существующих электролизерах без какой-либо модификации каркаса электролизера и соединительных шин. Каждая технология электролизера может иметь стыковочный переходник разных типов для соответствия существующим конструкциям соединительных шин за пределами электролизера.

Таким образом, центральная секция катодных токовых коллекторных стержней с высокой электропроводностью удлинена с помощью концевых секций (стыковочных переходников), которые проходят наружу для соединения с токоподводящей линией за пределами электролизера. Эти проходящие наружу

концевые секции, изготовленные из стали, имеют увеличенное поперечное сечение для уменьшения температуры концевых секций, например для уменьшения их температуры до примерно $+200^{\circ}\text{C}$ по сравнению с температурой за пределами электролизера.

Таким образом, конец коллекторного стержня может быть соединен с наружными соединительными шинами электролизера посредством стыковочных переходников. Эти стыковочные переходники могут быть закреплены на стержне с высокой электропроводностью с помощью механического давления, сварки, теплового расширения, механической блокировки, посадки с натягом, навинчивания друг на друга или комбинации указанных средств. Указанный стыковочный переходник может иметь такую форму, что положение соединения наружного гибкого шнура с существующей соединительной шиной остается неизменным, без какой-либо модификации существующего кожуха и соединительной системы с шинами.

В одном из вариантов катодного токового коллекторного узла согласно настоящему изобретению боковые стороны и нижняя часть коллекторного стержня с высокой электропроводностью и/или U-образного профиля могут контактировать с набивной подовой пастой, которая контактирует с угольным катодом. Однако набивная подовая паста не должна проходить над контактной поверхностью металла с высокой электропроводностью.

Как упомянуто выше, для регулирования сил, действующих на боковые стороны катодного паза, можно управлять тепловым расширением коллекторного стержня с высокой электропроводностью, заделанного в катодный паз, путем механической обработки одного или нескольких пазов внутри коллекторного стержня с высокой электропроводностью. Другой способ получения паза расширения состоит в том, чтобы расположить два отдельных коллекторных стержня с высокой электропроводностью на расстоянии друг от друга.

Благодаря использованию катодных токовых коллекторных стержней согласно настоящему изобретению повышается электропроводность угольного катода, что позволяет увеличить полезную высоту катодного блока на величину от 10 до 30% в зависимости от исходной конструкции катода и конструкции верхнего контактного профиля металла с высокой электропроводностью коллекторного стержня согласно настоящему изобретению. Благодаря увеличению высоты катодного блока можно соответствующим образом увеличить полезный срок службы катода и соответственно электролизера.

Использование катодных токовых коллекторных стержней согласно настоящему изобретению также приводит к оптимизированному распределению тока в жидком металле и/или внутри угольного катода, что обеспечивает возможность функционирования электролизера при низких напряжениях. Низкие напряжения обусловлены или небольшим МЭР, и/или небольшим падением напряжения внутри угольного катода между жидким металлом и концом коллекторного стержня.

Вместо использования U-образного профиля стержень может быть вставлен в отверстие, просверленное в катоде. В этом случае материал с высокой электропроводностью будет вдвинут в отверстие совместно с клеем. Поверхность материала с высокой электропроводностью может иметь канавки (или подвержена накатке) так, чтобы увеличить контактную поверхность, а также обеспечить схватывание клея. В данном варианте осуществления настоящего изобретения стержень металла с высокой электропроводностью, по меньшей мере, в центральной секции катода расположен в сквозном отверстии в угольном катоде, причем стержень из металла с высокой электропроводностью удерживается на лежащей снизу части угольного катода и окружен или предпочтительно находится в непосредственном контакте с поверхностью сквозного отверстия в угольном катоде.

Как упомянуто выше, управление тепловым расширением относительно угольного катода может быть обеспечено путем механической обработки одного или нескольких пазов в стержне с высокой электропроводностью или за счет использования двух или более отстоящих друг от друга стержней.

Подробное пояснение изобретения

Настоящее изобретение основано на аналитическом заключении, полученном на основе тщательного изучения конструкции коллекторных стержней и их влияния на магнитогидродинамическую устойчивость электролизера, о том, что можно использовать более качественные и дешевые технологии для применения материала с высокой электропроводностью в качестве коллекторных стержней (медных или других) за счет заделки проводящего стержня в подходящее углубленное гнездо под катодом, предпочтительно в непосредственном контакте с угольным катодом, на соответствующем расстоянии. Механическая фиксация и удержание могут быть обеспечены с использованием U-образного профиля для вставки стержня снизу. Механическая фиксация также может быть обеспечена путем вставки стержня из металла с высокой электропроводностью в сквозное отверстие в катоде.

Настоящее изобретение основано на том наблюдении, что срок службы электролизера ограничен химической и механической эрозией, которая главным образом обусловлена характером распределения плотности тока в катоде. Для увеличения толщины катода и соответственно срока службы электролизера коллекторные стержни согласно настоящему изобретению просто располагают под плоской поверхностью катода или вставляют в подходящее углубленное гнездо под катодом так, что контакт между угольным катодом и коллекторными стержнями с высокой электропроводностью реализуется за счет веса угольного катода или за счет точной механической посадки по верхней контактной линии профиля коллекторного стержня, которая может быть горизонтальной плоской, скругленной, эллиптической, ребри-

стой или в целом любой формы, от плоской до выпуклой.

Для лучшего сохранения контакта и положения проводящего стержня относительно катода во времени, U-образный профиль можно расположить так, чтобы он был механически соединен с боковыми установочными пазами, полученными механической обработкой в катодных гнездах. Контакт между медным или другим коллекторным стержнем с высокой электропроводностью и катодом может быть улучшен за счет использования "граничного материала", расположенного поверх материала с высокой электропроводностью, находящегося в U-образном профиле. Граничный материал может представлять собой металлическую пену, например никелевую пену, или медную пену, и/или структурированные поверхности, проходящие сквозь угольный блок, например металлическую сетку, или проводящий слой клея, или графитовую фольгу, или ткань, или комбинацию некоторых из перечисленных выше "граничных материалов". Эти граничные материалы также выполняют функцию компенсации различных тепловых расширений металла с высокой электропроводностью относительно угольного катода.

Для обеспечения оптимальной плотности тока в катод и внутри жидкого металла, которая позволит повысить ток в электролизере, вычисляют поперечное сечение металла с высокой электропроводностью, зависящее от электропроводности угольного катода, размера катода и даже положений анода в электролизере. За пределами центральной зоны коллекторные стержни должны быть изолированы на конкретном расстоянии и с выбранными интервалами на выходной стороне тока для обеспечения равномерной плотности тока у поверхности катода и почти без горизонтального тока в жидком металле.

Кроме того, для уменьшения контактного сопротивления между коллекторным стержнем и угольным катодом на нижних сторонах токового коллектора с высокой электропроводностью и опционально U-образного профиля может быть использован слой набивной подовой пасты.

Настоящее изобретение также относится к электролизеру Холла-Эру для производства алюминия, модернизированному и оснащенному катодным токовым коллектором или катодным токовым коллекторным узлом согласно настоящему изобретению.

Краткое описание чертежей

Настоящее изобретение будет описано далее в качестве примера со ссылкой на прилагаемые чертежи, на которых изображено следующее.

На фиг. 1 схематично в поперечном сечении показан электролизер Холла-Эру, оснащенный коллекторным стержнем согласно настоящему изобретению.

На фиг. 2 в поперечном сечении показан коллекторный стержень с U-образным профилем согласно первому варианту осуществления настоящего изобретения.

На фиг. 3 в поперечном сечении показан коллекторный стержень с другим U-образным профилем согласно второму варианту осуществления настоящего изобретения.

На фиг. 4 представлен график плотности тока через катод, оснащенный токовым коллектором согласно настоящему изобретению с U-образным профилем, и эталонный катод.

На фиг. 5А в поперечном сечении показан катод с материалом с высокой электропроводностью коллекторного стержня, приклеенного к угольному катоду.

На фиг. 5В в поперечном сечении показан катод с материалом с высокой электропроводностью коллекторного стержня в непосредственном электрическом контакте с угольным катодом.

На фиг. 6 в поперечном сечении показан катодный токовый коллекторный узел согласно другому варианту осуществления настоящего изобретения.

На фиг. 7 проиллюстрировано, как материал с высокой электропроводностью катодного токового коллекторного стержня соединен со стальным стержнем (стыковочный переходник) для направления тока за пределы электролизера.

На фиг. 8 проиллюстрирован альтернативный вариант соединения материала с высокой электропроводностью катодного токового коллекторного стержня со стальным стержнем, проводящим ток за пределы электролизера.

На фиг. 9 показан другой альтернативный вариант соединения материала с высокой электропроводностью катодного токового коллекторного стержня со стальным стержнем, проводящим ток за пределы электролизера.

На фиг. 10А показан материал с высокой электропроводностью токового коллекторного стержня, подвергнутого механической обработке для создания канавки, обеспечивающей возможность теплового расширения.

На фиг. 10В показан материал с высокой электропроводностью токового коллекторного стержня, подвергнутого механической обработке для создания канавки, обеспечивающей возможность теплового расширения, и находящегося в непосредственном контакте с угольным катодом.

На фиг. 10С показан материал с высокой электропроводностью токового коллекторного стержня, находящийся в непосредственном контакте с угольным катодом, подвергнутый механической обработке для создания паза, обеспечивающего возможность теплового расширения и находящегося в U-образной стальной балке.

На фиг. 11 показан материал 15 с высокой электропроводностью, имеющий форму, позволяющую увеличить площадь поверхности между катодом и материалом с высокой электропроводностью, прикле-

енным к катодному блоку.

На фиг. 12 показан слой материала с высокой электропроводностью токового коллекторного стержня в непосредственном контакте с угольным катодом верхней боковой поверхностью и с центральным согнутым ребром U-образной стальной балки нижней боковой поверхностью.

На фиг. 13А показан материал с высокой электропроводностью, разделенный на две отдельные проводящие части посредством центрального вертикального ребра U-образной стальной балки, причем каждая проводящая часть находится в непосредственном контакте с угольным катодом с верхних сторон и боковых поверхностей.

На фиг. 13В показан материал с высокой электропроводностью, разделенный на две отдельные проводящие части посредством центрального вертикального ребра U-образной стальной балки и электрически изолированный от угольного катода.

На фиг. 13С показан материал с высокой электропроводностью, разделенный на две отдельные проводящие части посредством каждого из двух отдельных вертикальных ребер U-образной стальной балки и находящийся в непосредственном контакте с угольным катодом.

На фиг. 14 показан материал с высокой электропроводностью на опоре и в непосредственном контакте с угольным катодом с верхних и боковых сторон.

На фиг. 15 показана медная трубка с прорезью, вставленная в отверстие в графитовом угольном блоке.

На фиг. 16 показан цельный медный стержень, вставленный в отверстие в графитовом угольном блоке.

На фиг. 17 показаны два медных стержня, вставленных в отверстия в графитовом угольном блоке, причем один из стержней имеет зазор для теплового расширения.

На фиг. 18 в аксонометрии показан медный стержень, согнутый в виде буквы U с двумя ножками, которые заделаны в графитовый катодный блок, причем короткая секция U-образного медного стержня с натягом вставлена в стальной стыковочный переходник.

Подробное описание

На фиг. 1 схематично показан электролизер 1 Холла-Эру для производства алюминия, содержащий основание 4 электролизера с угольным катодом, ванну 2 жидкого катодного алюминия на основании 4 электролизера с угольным катодом, расплавленный электролит 3 на основе фторида, например криолита, содержащий растворенный глинозем поверх ванны 2 алюминия, и множество анодов 5, подвешенных в электролите 3. На чертеже также показана крышка 6 электролизера, катодные токовые коллекторные стержни 7 согласно настоящему изобретению, которые проведены в основание 4 электролизера с угольным катодом снаружи контейнера 8 электролизера, и анодные подвесные стержни 9. Как видно на чертежах, коллекторный стержень 7 разделен на зоны. Зона 10 электрически изолирована, а зона 11 состоит из слоев, как видно на фиг. 2, 3, 5 или 6. Расплавленный электролит 3 размещен в корке 12 подвергнутого замораживанию электролита. Стальные стержни 18, электрически соединенные последовательно с концами коллекторных стержней 7, выдаются за пределы электролизера 1 для соединения с наружными токоподводящими линиями.

Зона 10 коллекторного стержня, например, электрически изолирована за счет того, что она обернута в лист глинозема или заключена в электроизоляционный клей или цемент.

На фиг. 2 показан U-образный профиль 14, изготовленный из любого типа теплостойкого проводящего или изоляционного материала, например стали, и проводящего материала 15 с высокой электропроводностью, такого как медь, внутри U-образного профиля 14, которые совместно образуют коллекторный стержень. Как показано на чертежах, коллекторный стержень опционально окружен коксовой колошей (например, набивной подовой пастой) 13 для уменьшения электрического сопротивления к угольному катоду. Свободная верхняя поверхность 16 материала с высокой электропроводностью может быть шероховатой для сведения к минимуму электрического контактного сопротивления. В одном из вариантов боковые стороны U-образного профиля не проходят к верхней части материала с высокой электропроводностью, а в другом варианте боковые стороны U-образного профиля шире и отстоят от материала с высокой электропроводностью.

На фиг. 3 показан U-образный профиль 14, изготовленный из любого типа теплостойкого проводящего или изоляционного материала, например стали, и материала 15 с высокой электропроводностью, такого как медь, которые совместно образуют коллекторный стержень в случае использования "заделанного" коллекторного стержня внутри угольного катода 4. В данном варианте осуществления настоящего изобретения, в отличие от фиг. 2, где верхняя часть меди/металла 15 расположена заподлицо с открытой частью U-образного профиля 14, здесь медь/металл 15 отделены от двух боковых сторон U-образного профиля, благодаря чему увеличивается поверхность непосредственного электрического контакта с угольным катодом 4 с трех боковых сторон. Нижняя сторона меди/металла 15 упирается на плоское основание U-образного профиля 14 в качестве механической опоры.

На фиг. 4 проиллюстрировано типовое влияние использования медного/металлического стержня на плотность тока у поверхности катода, если смотреть от центра катода (точка "0.0") до кромки катода (точка "1.8"). Эти результаты будут рассмотрены далее.

На фиг. 5А показан катод 4, вмещающий в себя материал 15 с высокой электропроводностью и клей 16 вокруг указанного материала с высокой электропроводностью, причем указанный клей является электропроводящим.

На фиг. 5В показан катод 4, вмещающий в себя стержень 15 из материала с высокой электропроводностью прямоугольного сечения, находящийся в непосредственном контакте с угольным катодом 4.

На фиг. 6 показан катод 4, материал 15 с высокой электропроводностью, клей 16 вокруг материала с высокой электропроводностью и огнеупорные кирпичи 17. Материал 15 с высокой электропроводностью приклеен к угольному катоду 4, но только в нижней части катода, причем боковые стороны и нижняя часть катода заменены огнеупорными кирпичами 17, например Шамот (Schamotte), или любого другого типа электроизоляционного или даже электропроводящего материала, такого как набивная подовая паста.

На фиг. 7 показан катод 4, материал 15 с высокой электропроводностью и клей 16 вокруг материала с высокой электропроводностью и на контактирующих поверхностях со стыковочным переходником, образованным стальным стержнем 18, проводящим ток за пределы электролизера. Конец коллекторного стержня может быть установлен с натягом в механически обработанной секции в стальном стержне 18, в отверстии или может быть приклеен с помощью того же самого клея. Другой тип соединения может заключаться в использовании стального стыковочного переходника, разделенного на две продольные части, которые зажаты на коллекторном стержне с помощью болтового соединения или сварки.

На фиг. 8 показан катод 4 снизу, с двумя соединенными стержнями из материала 15 с высокой электропроводностью, разделенными зазором 19 для теплового расширения и закрепленными болтами на стальном стержне 18, проводящем ток за пределы электролизера. С использованием такого болтового соединения применяют два элемента 15 из металла с высокой электропроводностью, которые могут отстоять друг от друга также внутри катода с обеспечением зазора для теплового расширения внутри катода.

На фиг. 9 показан альтернативный вариант соединения, в котором стальной стержень 18 изготовлен из двух отдельных элементов, соединенных друг с другом с помощью болтовой системы 19. Как показано на чертеже, конец материала 15 с высокой электропроводностью также закреплен в конце разделенных стальных стержней 18 с помощью той же самой болтовой системы 19.

На фиг. 10А показан материал 15 с высокой электропроводностью токового коллекторного стержня, подверженный механической обработке для создания центральной канавки 17, проходящей через основную часть высоты стержня из материала с высокой электропроводностью и обеспечивающей возможность теплового расширения. В данном примере материал 15 с высокой электропроводностью покрыт электропроводящим клеем 16, который приклеивает его к катоду 4.

На фиг. 10В показан материал 15 с высокой электропроводностью токового коллекторного стержня, подверженный механической обработке для создания центральной канавки 17, проходящей через основную часть высоты стержня из материала с высокой электропроводностью и обеспечивающей возможность теплового расширения. В данном примере материал 15 с высокой электропроводностью находится в непосредственном контакте с угольным катодом 4. Вместо использования механически обработанной канавки, два или более стержней из материала с высокой электропроводностью могут отстоять друг от друга на расстоянии и обращены друг к другу.

На фиг. 10С показан материал 15 с высокой электропроводностью токового коллекторного стержня, подверженного механической обработке для создания центральной канавки 17, проходящей через основную часть высоты стержня из материала с высокой электропроводностью и обеспечивающей возможность теплового расширения. В данном примере материал 15 с высокой электропроводностью находится в непосредственном контакте с угольным катодом и удерживается снизу с помощью U-образной стальной балки 14, ширина которой превышает ширину материала с высокой электропроводностью.

На фиг. 11 показан материал 15 с высокой электропроводностью, верхняя поверхность которого обработана с образованием группы гребней или других выступов для увеличения площади поверхности между катодом 4 и материалом 15 с высокой электропроводностью, приклеенным с помощью слоя электропроводящего клея 16 к катодному блоку 4.

На фиг. 12 показан слой 15 материала с высокой электропроводностью токового коллекторного стержня, находящийся в непосредственном контакте с угольным катодом 4 своими верхними боковыми поверхностями и насаженный и контактирующий с центральным согнутым ребром 14а U-образной стальной балки 14 своими нижними боковыми поверхностями. При этом можно предусмотреть более одного вертикального согнутого ребра 14а в качестве части U-образной секции 14 балки.

На фиг. 13А показан материал 15 с высокой электропроводностью, разделенный на две отдельные проводящие части посредством центрального вертикального ребра 14а широкой U-образной стальной балки 14, причем каждая проводящая часть находится в непосредственном контакте с угольным катодом 4 от своих верхних сторон и боковых поверхностей.

На фиг. 13В показан материал 15 с высокой электропроводностью, разделенный на две отдельные проводящие части посредством центрального вертикального ребра 14а широкой U-образной стальной балки 14, причем каждая проводящая часть электрически изолирована, в некоторых сегментах вдоль ее длины, которые требуют изоляции, в частности в зоне 10 (фиг. 1), от угольного катода 4 с помощью слоя 20 электроизоляционного материала, расположенного между верхними сторонами и боковыми поверх-

ностями проводящего материала и угольным катодом 4.

На фиг. 13С показан материал 15 с высокой электропроводностью, разделенный на две проводящие части каждым из двух отдельных вертикальных ребер 14а U-образной стальной балки 14, причем каждая проводящая часть находится в непосредственном контакте с угольным катодом 14 от своих верхних сторон и боковых поверхностей. При этом может быть предусмотрено более двух вертикальных ребер 14а.

На фиг. 14 показан стержень из материала 15 с высокой электропроводностью, находящийся в непосредственном контакте с угольным катодом 14 своими верхними и боковыми сторонами. Нижняя сторона материала 15 с высокой электропроводностью удерживается "плоской" стальной балкой 14b, или набивной подовой пастой, или клеем, который имеет равную протяженность с материалом 15 с высокой электропроводностью и служит опорой для указанного материала 15. Как раскрыто выше, материал с высокой электропроводностью может быть разделен канавкой, или может быть предусмотрено более одной части материала с высокой электропроводностью, которые отстоят друг от друга. Опорная балка 14b может быть изготовлена из нескольких слоев, например стального слоя над набивной подовой пастой.

На фиг. 15 показана медная трубка 15А с прорезью, вставленная в цилиндрическое отверстие в графитовом угольном блоке 4. Медная трубка 15А имеет прорезь вдоль своей длины для получения достаточного зазора и обеспечения тем самым теплового расширения медной трубки 15А, когда электролизер достигает своей рабочей температуры. Наружная поверхность трубки 15А с прорезью предпочтительно находится в непосредственном электрическом контакте с графитовым блоком 4.

На фиг. 16 показан цельный медный стержень 15В, вставленный в отверстие в графитовом угольном блоке 4. В данном случае возможность расширения может быть обеспечена за счет точной посадки. Другими словами, диаметр цилиндрического отверстия в блоке 4 и диаметр стержня 15В перед вставкой рассчитаны так, что стержень легко вставляется в отверстие, и при увеличении температуры электролизера стержень 15В расширяется для того, чтобы с натягом разместиться в отверстии.

На фиг. 17 показаны два медных стержня, вставленных в отверстия в графитовом угольном блоке 4, причем один стержень 15В представляет собой ровный цилиндрический стержень, как показано на фиг. 16, а другой стержень 15В' имеет диаметральный зазор для теплового расширения.

На фиг. 15, 16 и 17 показаны медные стержни круглого поперечного сечения, но следует отметить, что предлагаемая концепция может быть применена к любой геометрии отверстия и вставляемого стержня/трубки. Проиллюстрированное круглое отверстие, вмещающее в себя медный проводник, имеет преимущество, заключающееся в том, что оно изолировано снизу с помощью лежащего снизу угольного блока. Таким образом, отсутствует необходимость в удерживающей U-образной балке для обеспечения опоры снизу.

На фиг. 18 в аксонометрии показан конкретный вариант соединения наружной части (медного) стержня с высокой электропроводностью со стыковочным переходником. Как показано на чертеже, медный стержень 15 согнут в форме буквы U с двумя ножками, заделанными в канавки в нижней части графитового катодного блока, от которого отходят эти две ножки. Короткая секция 15С у выступающего конца U-образного медного стержня 15 установлена с натягом в поперечной канавке, расположенной к концу стального стыковочного переходника 18. Концевая часть этого стыковочного переходника 18 вставлена между двумя ножками медного стержня 15, причем стыковочный переходник 18 находится глубже и превышает толщину ножек медного стержня 15. В итоге площадь поперечного сечения стыковочного переходника 18 больше совокупной площади поперечного сечения двух ножек медного стержня 15. Посадка с натягом медного стержня 15 со стыковочным переходником 18 может быть обеспечена тепловым расширением меди в поперечной канавке стыковочного переходника 18.

Дополнительное описание коллекторных стержней с высокой электропроводностью

Использование коллекторных стержней с высокой электропроводностью может уменьшить падение напряжения между жидким металлом 2 и концевой частью коллекторных стержней. Медь или другой материал 15 с высокой электропроводностью, с или без U-образного профиля 14 или опорной балки 14b, также способствует уменьшению МЭР, что позволяет уменьшить удельные расходы электроэнергии и увеличить высоту катода, что приводит к увеличению срока службы электролизера.

Длины L1, L2 и L3 (фиг. 1) оптимизированы в зависимости от системы соединительных шин и геометрии электролизера для оптимизации устойчивости электролизера. Действительно, перераспределение тока через коллекторные стержни позволяет получить лучшее магнитогидродинамическое состояние электролизера, которое позволит уменьшить МЭР, увеличить ток и соответственно свести к минимуму расход электроэнергии. Это отражается равномерной вертикальной плотностью тока в горизонтальном сечении в середине ванны жидкого металла.

Типичный пример плотности тока представлен на фиг. 4 для традиционного электролизера и для электролизера согласно настоящему изобретению с фиг. 3 или 5А. Вертикальная плотность тока (J_z) зависит от положения в жидком металле, то есть $J_z = J_z(x, y, z)$ в системе координат (x, y, z) . При движении от кромки наружной части тени одного анода ($x = -X_L$) до кромки тени соседнего анода ($x = X_L$) в горизонтальной плоскости внутри жидкого металла абсолютное значение вертикального компонента плотности тока ($J_z(x)$) меняется обычно так, как показано на фиг. 4. При оптимизации коллекторных стержней за счет использования металла 15 с высокой электропроводностью, например меди, в непосредственном

электрическом контакте с графитовым катодом, находящимся в U-образном профиле 14 или непосредственно вставленным в паз катода, $|J_z(x)|$ уменьшается минимум на 50%, как показано на фиг. 4 (часть справа). Сечение коллекторного стержня таково, что выделение тепла является минимальным со стороны угольного катода до конца коллекторного стержня. На самом деле оно имеет размеры, которые позволяют получить перепад температур около 200°C снаружи, а также как можно более низкое падение напряжения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Катодный токовый коллекторный узел, собранный в угольном катоде электролизера Холла-Эру для производства алюминия, содержащий по меньшей мере один коллекторный стержень из металла с высокой электропроводностью, расположенный под угольным катодом, причем указанный металл с высокой электропроводностью имеет электропроводность, превышающую электропроводность стали, отличающийся тем, что

указанный или каждый коллекторный стержень из металла с высокой электропроводностью содержит центральную часть, расположенную под центральной частью угольного катода, причем центральная часть коллекторного стержня из металла с высокой электропроводностью имеет, по меньшей мере, верхнюю наружную поверхность из металла с высокой электропроводностью, находящуюся в непосредственном электрическом контакте с угольным катодом или в контакте с угольным катодом через электропроводящую границу раздела, образованную электропроводящим клеем, нанесенным на поверхность коллекторного стержня из металла с высокой электропроводностью и находящимся в контакте с указанной поверхностью, и/или электропроводящей гибкой фольгой, или гибким листом, причем указанные гибкая фольга или гибкий лист изготовлены из металлической ткани, сетки или пены из меди, медного сплава, никеля или никелевого сплава, или графитовой фольги или ткани, или их комбинации, нанесенной на поверхность коллекторного стержня из металла с высокой электропроводностью; причем

указанный или каждый коллекторный стержень из металла с высокой электропроводностью содержит одну наружную часть или две наружные части, расположенные рядом с указанной центральной частью с ее соответственно одной стороны или каждой из сторон, и выводную концевую часть или две выводные концевые части, проходящие наружу соответственно от указанной одной наружной части или указанных двух наружных частей; причем

указанная выводная концевая часть (части) указанного по меньшей мере одного коллекторного стержня из металла с высокой электропроводностью электрически последовательно соединена (соединены) каждая со стальным проводящим стержнем, имеющим большую площадь поперечного сечения по сравнению с коллекторным стержнем из металла с высокой электропроводностью, причем каждый указанный стальной проводящий стержень проходит наружу для соединения с наружной токоподводящей линией.

2. Катодный токовый коллекторный узел по п.1, в котором металл с высокой электропроводностью выбран из меди, алюминия, серебра и их сплавов, предпочтительно меди или медного сплава.

3. Катодный токовый коллекторный узел по любому из пп.1, 2, в котором поверхность металла с высокой электропроводностью, граничащая с угольным катодом, является шероховатой или имеет выемки, такие как канавки, или выступы, такие как ребра, для улучшения контакта с угольным катодом.

4. Катодный токовый коллекторный узел по любому из пп.1-3, содержащий проводящую границу раздела между металлом с высокой электропроводностью и угольным катодом, причем указанная проводящая граница раздела выбрана из металлической ткани, сетки или пены из меди, медного сплава, никеля или никелевого сплава, или графитовой фольги или ткани, или проводящего слоя клея, или их комбинации.

5. Катодный токовый коллекторный узел по п.4, в котором проводящая граница раздела содержит углеродный электропроводящий клей, получаемый смешиванием твердого углеродсодержащего компонента с жидким компонентом двухкомпонентного отверждаемого клея.

6. Катодный токовый коллекторный узел по любому из пп.1-5, в котором боковые стороны и опционально основание коллекторного стержня из металла с высокой электропроводностью непосредственно или косвенно контактируют с набивной подовой пастой или огнеупорными кирпичами, находящимися в контакте с угольным катодом.

7. Катодный токовый коллекторный узел по любому из пп.1-6, в котором коллекторный стержень из металла с высокой электропроводностью содержит по меньшей мере один паз, расположенный так, чтобы компенсировать тепловое расширение стержня в катоде за счет обеспечения возможности расширения металла с высокой электропроводностью вовнутрь в пространство, обеспечиваемое пазом (пазами), или в котором два или более коллекторных стержня из металла с высокой электропроводностью отстоят друг от друга для обеспечения возможности компенсации теплового расширения.

8. Катодный токовый коллекторный узел по любому из пп.1-7, в котором выводные концевые части коллекторного стержня из металла с высокой электропроводностью электрически последовательно соединены со стальным проводящим стержнем, образующим стыковочный переходник, причем коллекторный стержень из металла с высокой электропроводностью и стальной проводящий стержень частично

перекрывают друг друга и скреплены вместе посредством сварки, посредством электропроводящего клея, и/или путем приложения механического давления, например посредством зажима, или переходника, зафиксированного за счет теплового расширения, или посредством резьбового соединения.

9. Катодный токовый коллекторный узел по любому из пп.1-8, в котором угольный катод электрически контактирует с открытой верхней наружной поверхностью металла с высокой электропроводностью за счет действия веса угольного катода на металл с высокой электропроводностью, а также за счет теплового расширения металла с высокой электропроводностью.

10. Катодный токовый коллекторный узел по любому из пп.1-9, в котором указанная наружная часть (части) коллекторного стержня из металла с высокой электропроводностью проходит под или через электропроводящую часть основания электролизера, причем указанные наружные части коллекторного стержня из металла с высокой электропроводностью электрически изолированы от электропроводящей части основания электролизера.

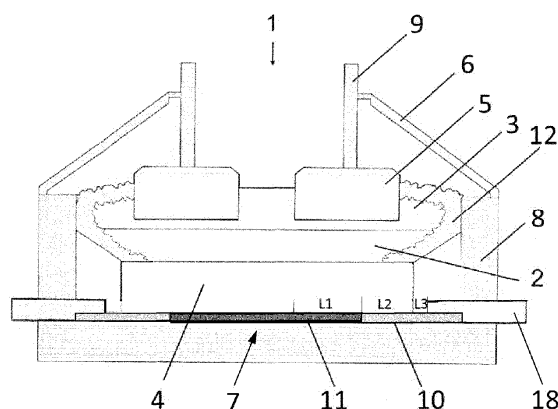
11. Катодный токовый коллекторный узел по п.10, в котором указанная наружная часть (части) коллекторного стержня из металла с высокой электропроводностью изолирована (изолированы) от электропроводящей части основания электролизера за счет того, что они заключены в изоляционный материал, в частности заключены в один или несколько листов изоляционного материала, например глинозема, намотанных вокруг указанной наружной части или частей, или в слой электроизоляционного клея или цемента.

12. Катодный токовый коллекторный узел по любому из пп.1-11, в котором указанная центральная часть коллекторного стержня из металла с высокой электропроводностью удерживается в U-образном профиле, изготовленном из материала, который сохраняет свою прочность при температурах, действующих в катод электролизера Холла-Эру, причем U-образный профиль имеет основание под указанным стержнем, на которое опирается указанный стержень, опционально по меньшей мере одно вертикальное ребро, и боковые секции, проходящие по боковым сторонам и отстоящие от или контактирующие с боковыми сторонами коллекторного стержня из металла с высокой электропроводностью, причем указанный коллекторный стержень из металла с высокой электропроводностью имеет, по меньшей мере, верхнюю часть и опционально также боковые части, свободные от U-образного профиля для обеспечения возможности контакта металла с высокой электропроводностью с угольным катодом непосредственно или через проводящую границу раздела.

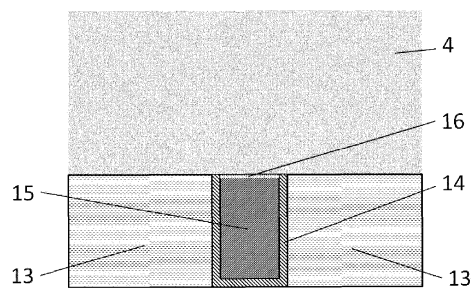
13. Катодный токовый коллекторный узел по п.12, в котором U-образный профиль изготовлен из металла, такого как сталь, или из цемента, или керамики.

14. Катодный токовый коллекторный узел по любому из пп.1-5 или 7-11, в котором коллекторный стержень из металла с высокой электропроводностью, по меньшей мере, в центральной части катода расположен в сквозном отверстии в угольном катод, причем коллекторный стержень из металла с высокой электропроводностью удерживается на лежащей снизу части угольного катода и окружен и предпочтительно находится в непосредственном электрическом контакте с поверхностью сквозного отверстия в угольном катод.

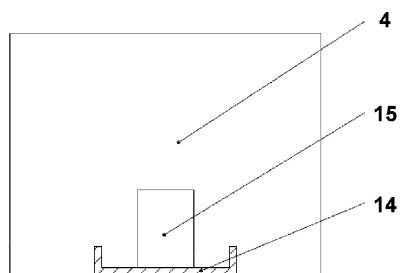
15. Электролизер Холла-Эру для производства алюминия, оснащенный катодным токовым коллекторным узлом по любому из пп.1-14.



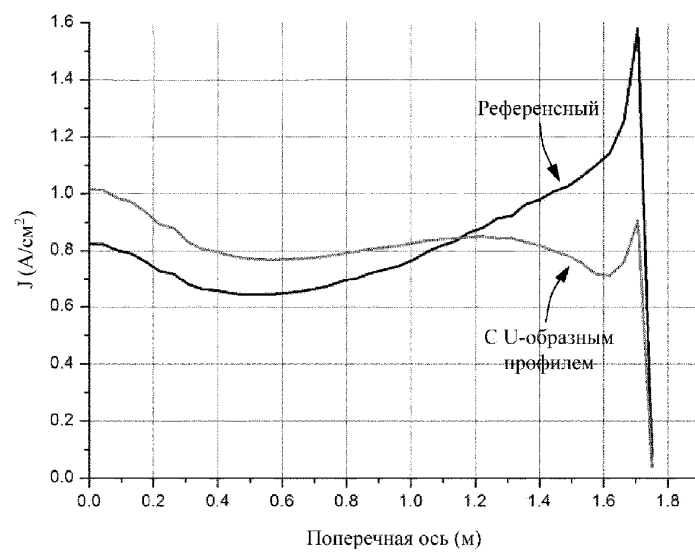
Фиг. 1



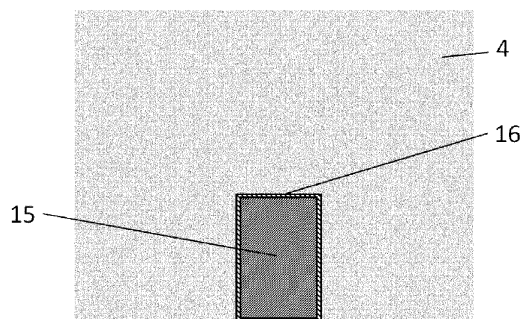
Фиг. 2



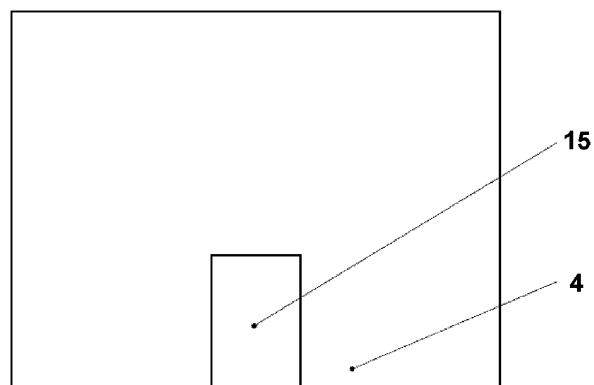
Фиг. 3



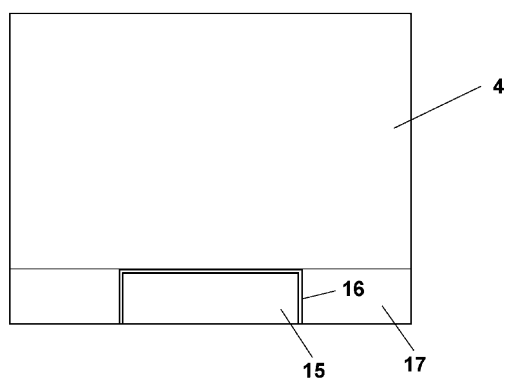
Фиг. 4



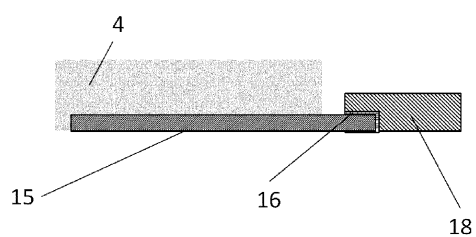
Фиг. 5A



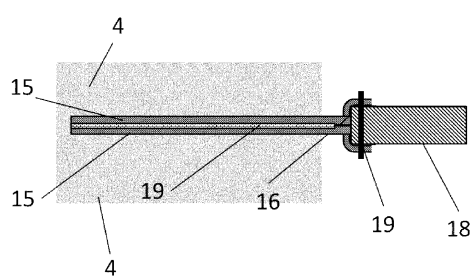
Фиг. 5В



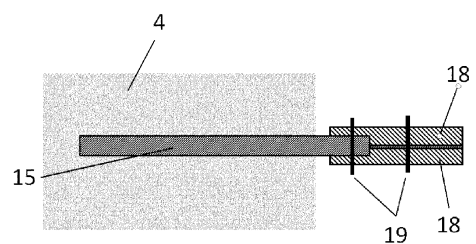
Фиг. 6



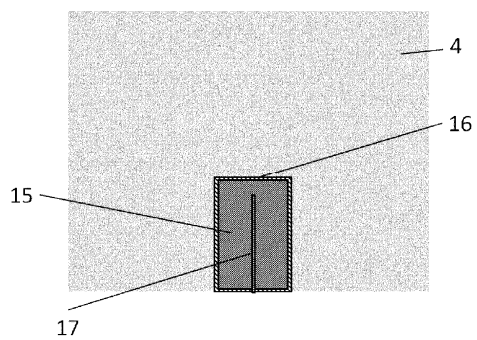
Фиг. 7



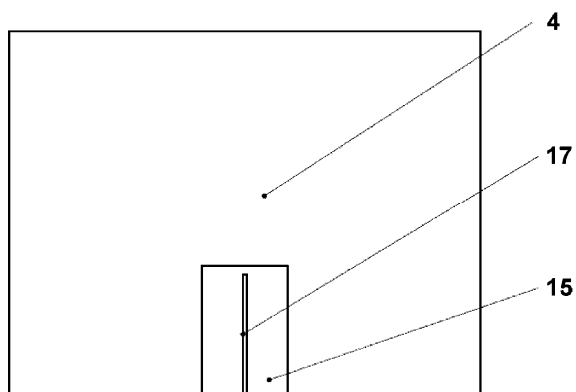
Фиг. 8



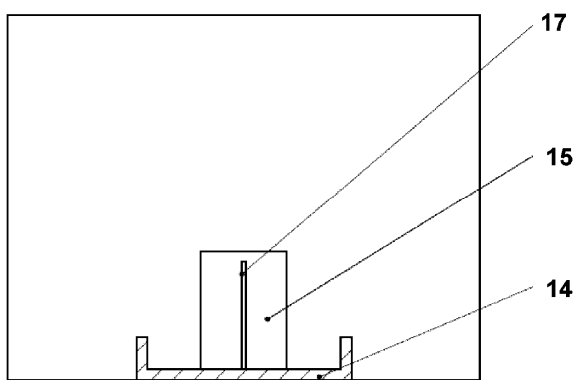
Фиг. 9



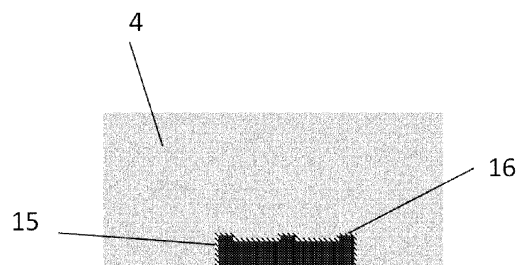
Фиг. 10А



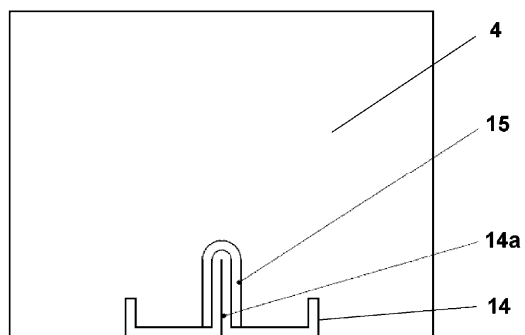
Фиг. 10В



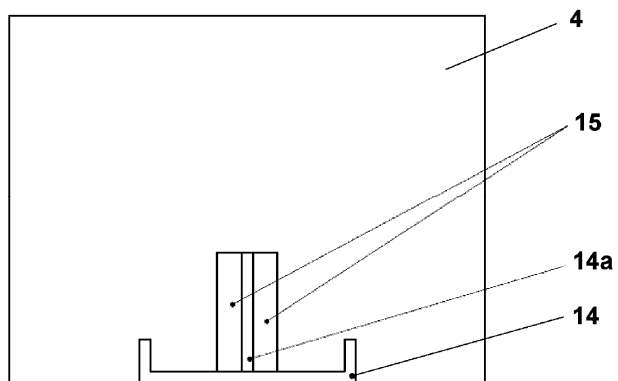
Фиг. 10С



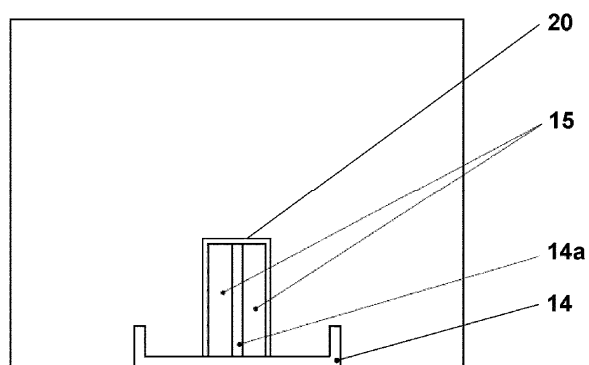
Фиг. 11



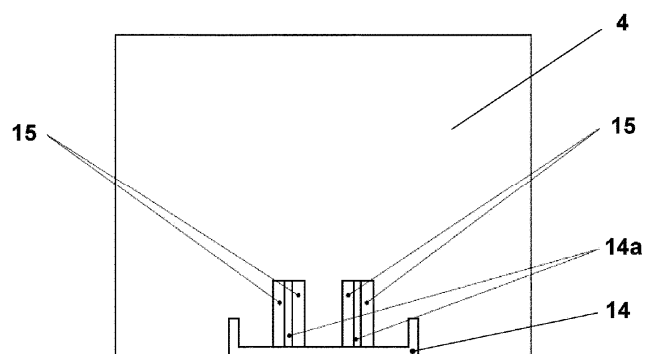
Фиг. 12



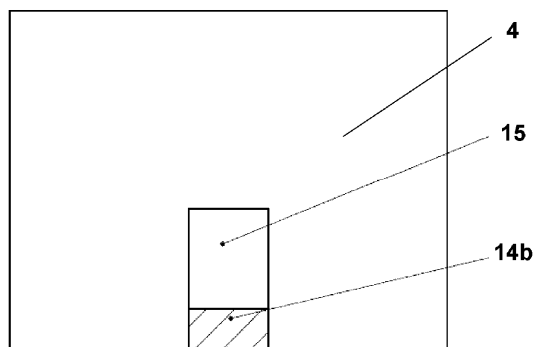
Фиг. 13А



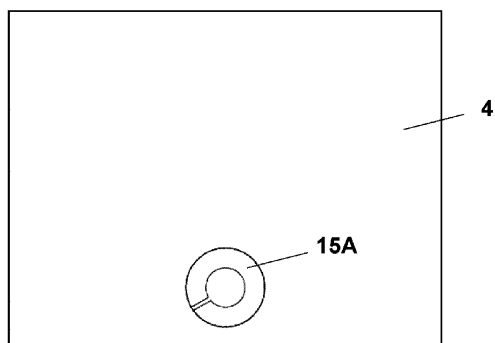
Фиг. 13В



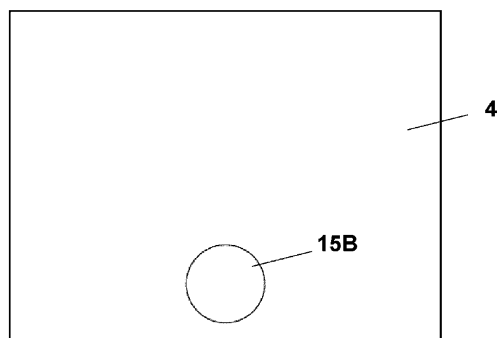
Фиг. 13С



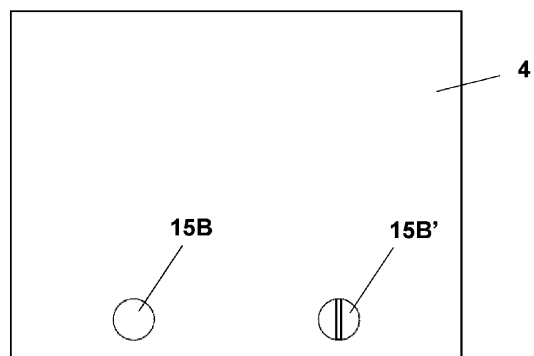
Фиг. 14



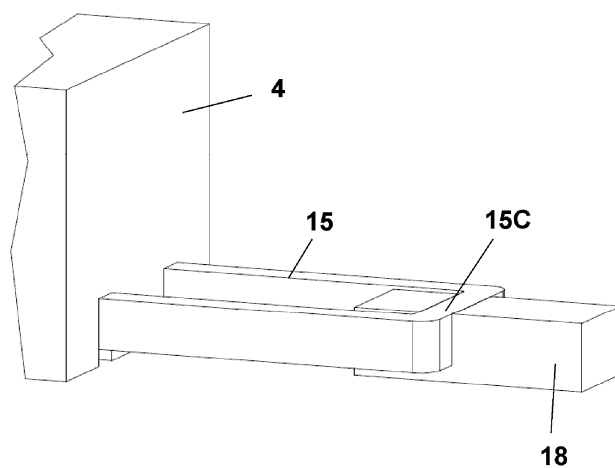
Фиг. 15



Фиг. 16



Фиг. 17



Фиг. 18

