

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **036662**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2020.12.04

(21) Номер заявки
201892174

(22) Дата подачи заявки
2017.03.24

(51) Int. Cl. **C25C 3/08** (2006.01)
C25C 3/06 (2006.01)
C25C 3/10 (2006.01)
C25C 3/12 (2006.01)
C25C 3/18 (2006.01)
C25C 7/06 (2006.01)

(54) **КОНФИГУРАЦИИ ЭЛЕКТРОДОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ И СВЯЗАННЫЕ СПОСОБЫ**

(31) **62/313,266**

(32) **2016.03.25**

(33) **US**

(43) **2019.02.28**

(86) **PCT/US2017/024129**

(87) **WO 2017/165838 2017.09.28**

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

(72) Изобретатель:
Лю Синхуа (US)

(74) Представитель:
Медведев В.Н. (RU)

(56) **US-A-5279715**
US-A-4664760
US-A-4392925
US-A1-20040011661
US-B2-7959772
US-A-4098666

(57) В одном варианте осуществления электролизер для производства алюминия из глинозема включает по меньшей мере один анодный модуль, имеющий множество анодов; по меньшей мере один катодный модуль, противостоящий анодному модулю, причем упомянутый по меньшей мере один катодный модуль содержит множество катодов, причем множество анодов подвешены над катодным модулем и простираются вниз к катодному модулю, причем множество катодов расположены проходящими вверх к анодному модулю, причем каждый из множества анодов и каждый из множества катодов расположены поочередно, причем множество анодов является избирательно позиционируемым в горизонтальном направлении относительно смежных катодов, причем анодный модуль является избирательно позиционируемым в вертикальном направлении относительно катодного модуля, и при этом часть каждого из анодных электродов перекрывает часть смежных катодов.

B1

036662

036662
B1

Перекрестная ссылка на родственные заявки

Данная заявка является непредварительной заявкой на патент и испрашивает приоритет по предварительной заявке на патент США с порядковым № 62/313266, поданной 25 марта 2016 г., содержание которой во всей своей полноте включено сюда по ссылке.

Область техники

Настоящее изобретение относится к аппаратам и способам получения металлического алюминия, а более конкретно, к аппаратам и способам получения металлического алюминия электролизом глинозема.

Предпосылки изобретения

Электролизеры Холла-Эру используют для получения металлического алюминия в промышленном производстве алюминия из глинозема, который растворен в расплавленном электролите (криолитовой "ванне") и восстанавливается постоянным электрическим током посредством расходуемого углеродного анода. Традиционные способы и аппараты для плавки глинозема используют угольные аноды, которые медленно расходуются и выделяют CO_2 , так называемый "парниковый газ". Формы и размеры традиционных анодов также ограничивают электролиз реагента (растворенного глинозема), который перемещается к середине подошвы анода для реакции. Это приводит к явлению, называемому "анодным эффектом", который вызывает образование CF_4 , другого регламентированного "парникового" газа. Помимо традиционной промышленной установки по выплавке алюминия, уровень техники также включает в себя конструкции установок по выплавке алюминия, в которых аноды и катоды имеют вертикальную ориентацию, например, как описано в патенте США № 5938914 на имя Доулесса (Dawless), озаглавленного "Конструкция электролизера с циркуляцией ванны солевого расплава" ("Molten Salt Bath Circulation Design For An Electrolytic Cell"), содержание которого во всей полноте включено сюда по ссылке. Несмотря на это, альтернативные конструкции установок по выплавке алюминия и электродов по-прежнему представляют интерес в данной области техники.

Сущность изобретения

В целом, различные варианты осуществления настоящего изобретения направлены на вертикальные конфигурации электродов для электролитического получения цветного металла (например, алюминия) в электролизере. Как описано здесь, анодные модули (например, каждый модуль, выполненный с множеством вертикально ориентированных инертных анодов) скомпонованы на (например, прикреплены к) продольной балке, причем эта балка выполнена перекрывающей открытый верхний конец электролизера. Продольная балка выполнена с возможностью ее крепления к или соединения иным образом с компонентами/подъемными механизмами для регулировки (например, поднимания или опускания) балки и, таким образом, поднимания или опускания соответствующих анодных модулей, которые соединены с балкой. При катодных модулях, расположенных вдоль подошвы электролизера (и прикрепленных к ней), вертикальная регулировка балок вызывает соответствующую регулировку перекрытия анод-катод, ПАК (т.е. поднимаемая балка поднимает анодные модули и уменьшает ПАК, а опускаемая балка опускает анодные модули и увеличивает ПАК). Кроме того, в некоторых вариантах осуществления отдельные анодные модули выполнены с возможностью регулирования их общего горизонтального положения вдоль продольной балки, перекрывающей электролизер. Как таковой, анодный модуль спроектирован/выполнен с возможностью ослабления его соединительного крепления к модулю и с возможностью перемещения модуля вдоль балки. Таким образом, аноды смещают, изменяя расстояние анод-катод между группой анодов в регулируемом модуле и соответствующей группой катодов в катодном модуле. В некоторых вариантах осуществления расстояние анод-катод регулируют во время предварительного нагрева или электролитического получения металла (например, для обеспечения в целом одинакового расстояния анод-катод). В некоторых вариантах осуществления расстояние анод-катод (называемое также междуполюсным расстоянием, МИР) регулируют во время получения металла. В некоторых вариантах осуществления перекрытие анод-катод (ПАК) регулируют во время получения металла. В некоторых вариантах осуществления расстояние анод-катод (МПР) и перекрытие анод-катод (ПАК) регулируют во время получения металла.

Раскрытый объект изобретения относится к электролизеру для производства алюминия из глинозема, имеющему по меньшей мере один анодный модуль с множеством анодов, причем каждый из множества анодов является выделяющим кислород электродом; по меньшей мере один катодный модуль, противостоящий анодному модулю, причем упомянутый по меньшей мере один катодный модуль содержит множество катодов, причем каждый из множества анодов и каждый из множества катодов имеют на себе поверхности, которые ориентированы вертикально и разнесены одна от другой, причем катоды являются смачиваемыми, и при этом упомянутый по меньшей мере один катодный модуль соединен с подошвой электролизера; электролизную ванну; электролит, расположенный внутри электролизной ванны; и слой металла, расположенный внутри электролизной ванны, при этом множество анодов по меньшей мере частично погружены в электролит и подвешены над катодным модулем и проходящими вниз к катодному модулю, при этом множество катодов полностью погружены в электролит, при этом множество катодов расположены в электролизной ванне проходящими вверх к анодному модулю, при этом каждый из множества анодов и каждый из множества катодов расположены поочередно внутри электролизной ванны, при этом множество анодов является избирательно позиционируемым в горизонтальном направле-

нии относительно смежных катодов, при этом анодный модуль является избирательно позиционируемым в вертикальном направлении относительно катодного модуля, и при этом часть каждого из анодных электродов перекрывает часть смежных катодов.

В другом варианте осуществления множество анодов образуют по меньшей мере один ряд на анодном модуле.

В другом варианте осуществления множество катодов образуют по меньшей мере один ряд на катодном модуле.

В другом варианте осуществления смежные аноды в упомянутом по меньшей мере одном ряду анодов имеют между собой зазор.

В другом варианте осуществления смежные катоды в упомянутом по меньшей мере одном ряду катодов имеют между собой зазор.

В другом варианте осуществления расстояние по горизонтали между анодом и катодом составляет в диапазоне от 1/4 до 6 дюймов.

В другом варианте осуществления перекрытие по вертикали анода и катода составляет в диапазоне от 1 до 100 дюймов.

В другом варианте осуществления анод является пластиной с поперечным сечением прямоугольной формы, которая составляет от 1 до 75 дюймов по ширине, от 5 до 100 дюймов по высоте и от 1/4 до 10 дюймов по толщине.

В другом варианте осуществления анод является пластиной с поперечным сечением прямоугольной формы с закругленными углами, имеющей размеры в диапазоне от 1 до 75 дюймов по ширине, от 5 до 100 дюймов по высоте и от 1/4 до 10 дюймов по толщине и радиус закругления угла от 1/8 до 1 дюйма.

В другом варианте осуществления анод является пластиной с поперечным сечением скругленной прямоугольной формы с закругленными концами, имеющей размеры в диапазоне от 1 до 75 дюймов по ширине, от 5 до 100 дюймов по высоте и от 1/4 до 10 дюймов по толщине и радиусом закругления конца от 1/8 до 3 дюймов.

В другом варианте осуществления анод имеет поперечное сечение эллиптической формы с большой осью в диапазоне от 1 до 30 дюймов, малой осью в диапазоне от 1/4 до 5 дюймов и высотой в диапазоне от 5 до 50 дюймов.

В другом варианте осуществления анод имеет поперечное сечение круглой формы с радиусом в диапазоне от 1/4 до 6 дюймов и высотой в диапазоне от 5 до 75 дюймов.

В другом варианте осуществления катод является пластиной с поперечным сечением прямоугольной формы, имеющей размеры в диапазоне от 1 до 75 дюймов по ширине, от 5 до 100 дюймов по высоте и от 1/8 до 5 дюймов по толщине.

В другом варианте осуществления катодный модуль включает в себя множество катодов, образующих по меньшей мере один ряд на катодном модуле, с зазором между смежными катодами в ряду, и при этом множество катодов имеют прямоугольную форму поперечного сечения с размерами в диапазоне от 1 до 40 дюймов по ширине, от 5 до 75 дюймов по высоте и от 1/8 дюйма до 5 дюймов по толщине и зазором между ними в диапазоне от 1/16 до 5 дюймов.

В другом варианте осуществления катодный модуль включает в себя множество катодов, образующих по меньшей мере один ряд на катодном модуле, с зазором между смежными катодами в ряду, и при этом множество катодов имеют круглую форму поперечного сечения с радиусом в диапазоне от 1/8 до 3 дюймов, высотой в диапазоне от 5 дюймов до 75 дюймов и зазором между ними в диапазоне от 1/16 дюйма до 2 дюймов.

В другом варианте осуществления упомянутый по меньшей мере один катод включает множество катодов, образующих по меньшей мере один ряд на катодном модуле, с зазором между смежными катодами в ряду, и при этом множество катодов имеют поперечное сечение скругленной прямоугольной формы с размерами в диапазоне от 1/4 до 3 дюймов по ширине, от 5 до 75 дюймов по высоте и от 1/8 до 3 дюймов по толщине и зазором между ними в диапазоне от 1/16 до 3 дюймов.

В другом варианте осуществления катодный модуль включает в себя множество катодов, образующих по меньшей мере один ряд на катодном модуле, с зазором между смежными катодами в ряду, и при этом множество катодов имеют поперечное сечение эллиптической формы с малой осью в диапазоне от 1/4 до 3 дюймов, большой осью в диапазоне от 1 до 8 дюймов и высотой в диапазоне от 5 до 75 дюймов и зазором между ними в диапазоне от 1/16 до 3 дюймов.

В другом варианте осуществления анодный модуль включает в себя множество анодов, расположенных на анодном модуле в виде матрицы, образующей множество рядов, а катодный модуль включает в себя множество катодов, расположенных на катодном модуле в виде матрицы, образующей множество рядов, причем множество рядов анодов и множество рядов катодов являются чередующимися, и при этом множество анодов имеют по меньшей мере одну форму поперечного сечения из прямоугольной, прямоугольной с закругленными кромками, скругленной прямоугольной, круглой или эллиптической, и множество катодов имеют по меньшей мере одну форму поперечного сечения из прямоугольной, прямоугольной с закругленными кромками, скругленной прямоугольной, круглой или эллиптической.

В другом варианте осуществления анодный модуль имеет профиль в плоскости, перпендикулярной

направлению протяженности анодов, с первым размером, превышающим второй размер, причем множество рядов анодов расположены или параллельно, или перпендикулярно первому размеру.

В другом варианте осуществления расстояние по вертикали между верхней поверхностью электролита и верхним концом катода составляет в диапазоне от 1/8 до 10 дюймов.

В другом варианте осуществления с упомянутым по меньшей мере одним анодным модулем соединено позиционирующее устройство, причем это устройство выполнено с возможностью избирательного позиционирования упомянутого по меньшей мере одного анодного модуля в вертикальном направлении относительно катодного модуля, и при этом позиционирующее устройство выполнено с возможностью избирательного позиционирования множества анодов в горизонтальном направлении относительно смежных катодов.

В другом варианте осуществления способ получения металлического алюминия электрохимическим восстановлением глинозема включает пропускание тока между анодом и катодом через электролитную ванну электролизера, причем этот электролизер включает: (a) пропускание тока между анодом и катодом через электролитную ванну электролизера, причем этот электролизер содержит: (i) по меньшей мере один анодный модуль с множеством анодов, причем каждый из множества анодов является выделяющим кислород электродом, (ii) по меньшей мере один катодный модуль, противостоящий анодному модулю, причем упомянутый по меньшей мере один катодный модуль содержит множество катодов, причем каждый из множества анодов и каждый из множества катодов имеют на себе поверхности, которые ориентированы вертикально и разнесены одна от другой, причем катоды являются смачиваемыми, и причем упомянутый по меньшей мере один катодный модуль соединен с подиной электролизера, (iii) электролизную ванну, (iv) электролит, расположенный внутри электролизной ванны, и (v) слой металла, расположенный внутри электролизной ванны, причем множество анодов, по меньшей мере, частично погружены в электролит и подвешены над катодным модулем и проходящими вниз к катодному модулю, причем множество катодов полностью погружены в электролит, причем множество катодов расположены в электролизной ванне проходящими вверх к анодному модулю, причем каждый из множества анодов и каждый из множества катодов расположены поочередно внутри электролизной ванны, причем множество анодов является избирательно позиционируемым в горизонтальном направлении относительно смежных катодов, причем анодный модуль является избирательно позиционируемым в вертикальном направлении относительно катодного модуля и причем часть каждого из анодных электродов перекрывает часть смежных катодов; (b) подачу исходного материала в электролизер и (c) регулирование анодного модуля в вертикальном направлении относительно катодного модуля.

В другом варианте осуществления исходный материал электролитически восстанавливают до продукта-металла.

В другом варианте осуществления этот продукт-металл стекает с катодов на подину электролизера, формируя слой металла.

В другом варианте осуществления получают продукт-металл, имеющий степень чистоты P1020.

В другом варианте осуществления регулирование анодного модуля включает поднимание упомянутого по меньшей мере одного анодного модуля для уменьшения перекрытия части каждого из анодных электродов относительно части смежных катодов.

В другом варианте осуществления регулирование анодного модуля включает опускание упомянутого по меньшей мере одного анодного модуля для увеличения перекрытия части каждого из анодных электродов относительно части смежных катодов.

В другом варианте осуществления способ получения металлического алюминия электрохимическим восстановлением глинозема включает пропускание тока между анодом и катодом через электролитную ванну электролизера, причем этот электролизер содержит: (i) по меньшей мере один анодный модуль с множеством анодов, причем каждый из множества анодов является выделяющим кислород электродом, (ii) по меньшей мере один катодный модуль, противостоящий анодному модулю, причем упомянутый по меньшей мере один катодный модуль содержит множество катодов, причем каждый из множества анодов и каждый из множества катодов имеют на себе поверхности, которые ориентированы вертикально и разнесены одна от другой, причем катоды являются смачиваемыми, и при этом упомянутый по меньшей мере один катодный модуль соединен с подиной электролизера, (iii) электролизную ванну, (iv) электролит, расположенный внутри электролизной ванны, и (v) слой металла, расположенный внутри электролизной ванны, причем множество анодов, по меньшей мере, частично погружены в электролит и подвешены над катодным модулем и проходящими вниз к катодному модулю, причем множество катодов полностью погружены в электролит, причем множество катодов расположены в электролизной ванне проходящими вверх к анодному модулю, причем каждый из множества анодов и каждый из множества катодов расположены поочередно внутри электролизной ванны, причем множество анодов является избирательно позиционируемым в горизонтальном направлении относительно смежных катодов, причем анодный модуль является избирательно позиционируемым в вертикальном направлении относительно катодного модуля, и при этом часть каждого из анодных электродов перекрывает часть смежных катодов; (b) подачу исходного материала в электролизер и (c) регулирование множества анодов в горизонтальном направлении относительно смежных катодов.

В другом варианте осуществления регулирование множества анодов включает регулирование анодов в горизонтальном направлении так, чтобы интервал по горизонтали был практически одинаковым с любой стороны от анодов анодного модуля.

В другом варианте осуществления исходный материал электролитически восстанавливают до продукта-металла.

В другом варианте осуществления этот продукт-металл стекает с катодов на подину электролизера, формируя слой металла.

В другом варианте осуществления получают продукт-металл, имеющий степень чистоты P1020.

Краткое описание чертежей

Для более полного понимания настоящего изобретения обратимся к нижеследующему подробному описанию примерных вариантов осуществления, рассмотренных в связи с прилагаемыми чертежами.

На фиг. 1 показан схематический вид с частичным разрезом электролизера в соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения.

На фиг. 2 показан вид в перспективе пары модулей с чередующимися анодами и катодами в соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения.

На фиг. 3 показан вид сбоку части модулей с чередующимися анодами и катодами в соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения.

На фиг. 4 показан вид в перспективе с частичным разрезом электролизера в соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения, аналогичный фиг. 1, но в разрезе, перпендикулярном разрезу по фиг. 1.

На фиг. 5 показан вид в перспективе матрицы модулей с чередующимися анодами и катодами в соответствии с другим вариантом осуществления настоящего изобретения.

На фиг. 6 показан частично воображаемый вид сверху анодно-катодного модуля в электролизере в соответствии с другим вариантом осуществления настоящего изобретения.

На фиг. 7 показана серия схематических изображений поперечных сечений множества различных анодов в соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения.

На фиг. 8 показана серия схематических изображений поперечных сечений множества различных катодов в соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения.

На фиг. 9-13 показаны серии схематических изображений в плане множества различных чередующихся анодов и катодов в соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения.

На фиг. 14 показан вид в перспективе с частичным разрезом примерного позиционирующего устройства, соединенного с электролизером для производства алюминия.

На фиг. 15 показан вид в перспективе с частичным разрезом примерного позиционирующего устройства, соединенного с электролизером для производства алюминия.

Подробное описание примеров осуществления

На фиг. 1 показан схематический разрез электролизера 10 для производства металлического алюминия электрохимическим восстановлением глинозема с помощью анода и катода. В некоторых вариантах осуществления анод является инертным анодом. Некоторые неограничивающие примеры составов инертных анодов включают керамику, металлический материал, кермет и/или их сочетания. Некоторые неограничивающие примеры составов инертных анодов представлены в патентах США №№ 4374050, 4374761, 4399008, 4455211, 4582585, 4584172, 4620905, 5279715, 5794112 и 5865980, принадлежащие правопреемнику настоящей заявки. В некоторых вариантах осуществления анод является выделяющим кислород электродом. Выделяющим кислород электродом является электрод, на котором получается кислород во время электролиза. В некоторых вариантах осуществления катод является смачиваемым катодом. В некоторых вариантах осуществления смачиваемые алюминием материалы представляют собой материалы, имеющие контактный угол с расплавленным алюминием не более 90° в расплавленном электролите. Некоторые неограничивающие примеры смачиваемых материалов могут включать один или более из TiB₂, ZrB₂, HfB₂, SrB₂, углеродистых материалов и их сочетания.

Электролизер 10 имеет по меньшей мере один анодный модуль 12. В некоторых вариантах осуществления анодный модуль 12 имеет по меньшей мере один анод 12E или множество анодов 12E, подвешенных над по меньшей мере одним катодным модулем 14, содержащим по меньшей мере один катод 14E или множество катодов 14E. Множество катодов 14E расположено в электролизной ванне 16. Множество катодов 14E проходят вверх к анодному модулю 12. Хотя в различных вариантах осуществления настоящего изобретения множество анодов 12E и катодов 14E показаны в конкретном числе, можно использовать любое число анодов 12E и катодов 14E, большее или равное 1, для образования анодного модуля 12 или катодного модуля 14 соответственно. В некоторых вариантах осуществления катодный модуль 14 неподвижно (жестко) соединен с подиной электролизера 10. В некоторых вариантах осуществления катоды 14E поддерживаются в катодном держателе 14B, который опирается в электролизной ванне 16 на катодные блоки 18, выполненные, например, из углеродистого материала и находящиеся в непрерывном электрическом контакте с одним или более катодными токоотводящими стержнями 20. В некоторых вариантах осуществления катодные блоки 18 неподвижно (жестко) соединены с подиной электролизера 10. Электролизная ванна 16 обычно имеет стальной кожух 16S и футерована изоляционным мате-

риалом 16А, огнеупорным материалом 16В и бортовым материалом 16С. Электролизная ванна 16 способна удерживать внутри себя ванну расплавленного электролита (схематично изображен пунктирной линией 22) и слой металла - расплавленного алюминия. Части анодной шины 24, которая подводит электрический ток к анодным модулям 12, показаны зажатými в электрическом контакте с анодными штангами 12L анодных модулей 12. Анодные штанги 12L конструктивно и электрически соединены с анодной распределительной плитой 12S, к которой прикреплен теплоизоляционный слой 12В. Аноды 12Е проходят через теплоизоляционный слой 12В и механически и электрически контактируют с анодной распределительной плитой 12S. Анодная шина 24 обычно проводит постоянный электрический ток от подходящего источника 26 через анодные штанги 12L, анодную распределительную плиту 12S, анодные элементы, электролит 22 к катодам 14Е, а от них через катодный держатель 14В, катодные блоки 18 и катодные токоотводящие стержни 20 к другому полюсу источника 26 электропитания. Аноды 12Е каждого анодного модуля 12 находятся в непрерывном электрическом контакте. Аналогично, катоды 14Е каждого катодного модуля 14 находятся в непрерывном электрическом контакте. Анодные модули 12 можно поднимать и опускать с помощью позиционирующего устройства, регулируя их положение относительно катодных модулей 14 для регулировки перекрытия анод-катод (ПАК). Примерное устройство позиционирования показано на фиг. 14 и 15.

На фиг. 14 показан вид в перспективе примерного аппарата 100 для производства алюминия. В некоторых вариантах осуществления упомянутый по меньшей мере один анодный модуль 12 с множеством анодов 12Е поддерживается над соответствующим по меньшей мере одним катодным модулем 14 с множеством катодов 14Е. В некоторых вариантах осуществления упомянутый по меньшей мере один анодный модуль 12 поддерживается с помощью позиционирующего устройства, как показано на фиг. 14. В некоторых вариантах осуществления позиционирующее устройство содержит по меньшей мере одну пролетную балку 102. Хотя в аппарате 100, показанном на фиг. 14, применяются четыре пролетные балки 102, может использоваться любое число пролетных балок, большее или равное 1, в соответствии с числом анодных модулей 12 и катодных модулей 12 в электролизере.

Пролетная балка 102 имеет первый конец 104 и противоположный ему второй конец 106. В некоторых вариантах осуществления пролетная балка 102 поддерживается первым опорным устройством 108 на своем первом конце 104 и вторым опорным устройством 110 на своем втором конце 106. Каждое из опорных устройств 108, 110 расположено на площадке 140 боковой стенки 142. Пролетная балка 102 ориентирована перпендикулярно боковой стенке 142. В некоторых вариантах осуществления опорные устройства 108, 110 соединены с площадкой 140. В некоторых вариантах осуществления пролетная балка 102 может быть поднята или опущена подъемниками 130, связанными с опорными устройствами 108, 110.

Анодный модуль 12 соединен с пролетной балкой 102 посредством соединительного устройства 116. Это соединительное устройство 116 содержит первую часть 118, контактирующую с и соединенную с поверхностью 120 анодного модуля 12. В некоторых вариантах осуществления первая часть 118 соединена с поверхностью 120 в многочисленных точках соединения. Соединительное устройство 116 дополнительно содержит вторую часть 124. Вторая часть 124 имеет первый конец и противоположный ему второй конец. Первый конец второй части 124 соединен с или выполнен заодно с первой частью 118. Вторая часть 124 простирается вертикально от первой части 118 к пролетной балке 102. Соединительное устройство 116 дополнительно содержит третью часть 126. Третья часть 126 соединена со вторым концом второй части 124. В некоторых вариантах осуществления третья часть 126 зажата на пролетной балке 102. В некоторых вариантах осуществления эту третью часть можно разжимать (освобождать от зажима) и обеспечивать возможность ее свободного перемещения вдоль длины пролетной балки 102 (т.е. в направлении, показанном стрелкой 128) для обеспечения избирательного позиционирования множества анодов в горизонтальном направлении относительно смежных катодов.

На фиг. 15 показан вид в перспективе другого примерного аппарата 200 для производства алюминия. В некоторых вариантах осуществления упомянутый по меньшей мере один анодный модуль 12 с множеством анодов 12Е поддерживается над соответствующим по меньшей мере одним катодным модулем 14 с множеством катодов 14Е. В некоторых вариантах осуществления упомянутый по меньшей мере один анодный модуль 12 поддерживается позиционирующим устройством, как показано на фиг. 15. В некоторых вариантах осуществления позиционирующее устройство содержит по меньшей мере одну мостовую конструкцию 202.

Мостовая конструкция 202 имеет первый конец 204 и противоположный ему второй конец 206. В некоторых вариантах осуществления мостовая конструкция 202 поддерживается опорным устройством 210 на первом конце 204 и на втором конце 206. Опорное устройство 210 содержит множество вертикальных опор 240, расположенных на противоположных площадках 242 торцевой стенки 216. Мостовая конструкция 202 ориентирована перпендикулярно торцевой стенке 216 и параллельно боковым стенкам. В некоторых вариантах осуществления каждая вертикальная опора 240 соединена с каждой соответствующей площадкой 242. В ходе работы примерного аппарата 200 для производства алюминия этот аппарат может нагреваться до температуры, достаточной для обеспечения в результате расширения аппарата. В некоторых вариантах осуществления вертикальные опоры на одной площадке 242 разблокированы (т.е. свободно перемещаются), тем самым позволяя площадке 242 аппарата 200 расширяться без дефор-

мации любой части аппарата 200.

Анодный модуль 12 соединен с мостовой конструкцией 202 посредством соединительного устройства 244. Соединительное устройство 244 содержит первую часть 246, контактирующую с и соединенную с поверхностью 222 анодного модуля 12. В некоторых вариантах осуществления первая часть 246 соединена к поверхности 222 во множестве точек соединения. Соединительное устройство 244 дополнительно содержит вторую часть 224. Вторая часть 224 имеет первый конец и противоположный ему второй конец. Первый конец второй части 224 соединен с или выполнен заодно с первой частью 246. Вторая часть 224 простирается вертикально от первой части 246 к мостовой конструкции 202. Соединительное устройство 244 дополнительно содержит третью часть 226. Третья часть 226 соединена со вторым концом второй части 224. В некоторых вариантах осуществления третья часть 226 может быть поднята или опущена, чтобы отрегулировать анодный модуль в вертикальном направлении относительно катодного модуля.

В некоторых вариантах осуществления соединительное устройство 244 можно регулировать вдоль длины мостовой конструкции 202 (т.е. в направлении, показанном стрелкой 228), чтобы обеспечить избирательное позиционирование множества анодов в горизонтальном направлении относительно смежных катодов.

На фиг. 1 и 2 показаны два анодных модуля 12 и два катодных модуля 14 с прямоугольными пластинчатыми анодами 12E и прямоугольными пластинчатыми катодами 14E, расположенными во взаимно чередующихся положениях. Как показано на фиг. 2, анодные модули 12 содержат матрицу анодов 12E с шириной в два и глубиной в пять электродных элементов 12E. Каждый катодный модуль 14 содержит матрицу с шириной в один катод 14E и глубиной в четыре катода 14E. Как будет описано ниже, это одна из многих конфигураций, предполагаемых настоящим изобретением. Эта компоновка также может быть описана как электролизер с вертикальными электродными сборками, в которых анодные и катодные элементы расположены один рядом с другим в чередующейся параллельной конфигурации, ограничивая множество смежных ячеек. Когда в электролизную ванну 16 вводят электролит 22, погружая разнесенные, чередующиеся аноды 12E и катода 14E, образуется множество электролитических ячеек электролизера 10. Когда глиноземную руду (не показана) распределяют в электролите 22 и пропускают постоянный ток через анодные и катодные модули 12, 14 и электролит 22, глинозем может быть восстановлен до металлического алюминия за счет диссоциации в растворе, восстановления на катоде и окисления на аноде: $2\text{Al}_2\text{O}_3 \rightarrow 4\text{Al}$ (на катоде) + 3O_2 (на аноде). Когда электрический ток протекает через анодные модули 12 и катодные модули 14 электролизера 10, кислородсодержащие ионы, присутствующие в электролите, разряжаются на поверхности анодов 12E, выделяясь в виде газообразного O_2 . Для улавливания отходящих газов могут быть предусмотрены укрытие, газоходы и скруббер (не показаны). Алюминий, образовавшийся в электролизере 10, накапливается на его подине (т.е. на слое металла 114F по фиг. 3 внутри электролизера), откуда его периодически выпускают.

На фиг. 3 показан анодный модуль 112 и катодный модуль 114 с их электродами 112E и 114E во взаимно чередующихся положениях. Высоту электролитной ванны 122 относительно катодов 114 можно назвать "расстоянием от уровня электролита до катодов", или РЭК. В одном варианте осуществления РЭК может составлять в диапазоне от 1/8 до 10 дюймов, а в другом варианте осуществления - от 1/2 дюйма до 6 дюймов. Анодный модуль 112 можно поднимать и опускать (т.е. он избирательно позиционируем) по высоте относительно положения катодного модуля 114, как показано двойной стрелкой V. В некоторых вариантах аноды 112E не полностью погружены в электролитную ванну и проходят через границу раздела электролитная ванна-пар во время производства металла. Эта вертикальная регулируемость позволяет регулировать обозначенное буквой Y "перекрытие" анодов и катодов. Уровень электролитной ванны 22 (фиг. 1), высота анодных электродов 112E и катодных элементов 114E могут потребовать регулировки положения анодного модуля 112 относительно катодного модуля 114 в вертикальном направлении, чтобы добиться выбранного перекрытия анод-катод (ПАК) Y, а также глубины погружения в электролит 22. В некоторых вариантах осуществления, как показано на фиг. 3, анодные электроды 112E по меньшей мере частично погружены в электролит, а катодные электроды 114E полностью погружены в электролит. Изменение ПАК Y можно использовать для изменения сопротивления электролизера и поддержания стабильной температуры электролизера.

Существует также горизонтальный интервал, который можно назвать расстоянием анод-катод, или "МПР", между анодами 112E и катодами 114E, как обозначено X1 - расстоянием между катодом 114E и ближайшим слева от него анодным элементом 112E и X2 - расстоянием между катодом 114E и ближайшим справа от него анодом 112E. Как показано на фиг. 3, интервал Z между осевыми линиями CL анодов 112E и осевыми линиями (не показаны) катодов может быть одинаковым, так что горизонтальное расстояние X1, X2 каждого катода 114E от соответствующих анодов 112E будет единообразным. Как показано на фиг. 3, расстояние X1 может быть различным, например, меньшим, чем расстояние X2, и в этом случае будет иметь место предпочтительное течение тока, связанное с меньшим расстоянием X1 или X2. Расстояние X1, X2 может быть регулируемым или фиксированным, что определяется механической опорной конструкцией для анодных модулей 112. Положение катодных модулей 114 также может быть фиксированным или регулируемым. Для обеспечения требуемого расстояния анод-катод (МПР) может

быть применена прокладка, которую вставляют между по меньшей мере одним противостоящим анодом 112E и катодным элементом 114E.

Диапазон величины интервала Z для совокупности анодов 112E и катодов 114E зависит от толщины анодов 112E и катодов 114E, а также от расстояния анод-катод (МПП). Диапазон величины расстояний X1 и X2 для анодов 112E и катодов 114E, имеющих описанные выше диапазоны размеров, будет в пределах от 1/4 до 6 дюймов, в некоторых вариантах от 1/4 до 5 дюймов, в некоторых вариантах осуществления от 1/4 до 3 дюймов. Диапазон величины перекрытия Y для анодов 112E и катодов 114E будет в пределах от 1 до 100 дюймов, в некоторых вариантах осуществления от 4 до 75 дюймов, в некоторых вариантах осуществления от 6 до 35 дюймов, а в некоторых вариантах осуществления от 8 дюймов до 25 дюймов.

Аноды 112E могут быть монолитными или композитными, имеющими внутреннюю часть, выполненную из металлического проводника, и внешнюю часть, которая изготовлена из материала, приспособленного сопротивляться окислению и коррозии под воздействием расплавленного электролита 22 в электролизере 10. Аноды 112E могут быть выполнены на керамической основе, например, оксидов железа, титана, цинка, кобальта и меди, ферритов (ферритов никеля, ферритов меди, ферритов цинка, многоэлементных ферритов) и их смесей; на металлической основе, например, меди, никеля, железа, кобальта, титана, алюминия, цинка, олова и/или сплавов одного или более из этих металлов; или на металлокерамической основе (смесей оксидов и металлов, т.е. композиционного материала, содержащего по меньшей мере одну керамическую фазу и одну металлическую фазу). Катоды 14E могут быть изготовлены из коррозионностойких, смачиваемых расплавленным алюминием материалов, таких как диборид титана, диборид циркония, диборид гафния, диборид стронция, углеродистые материалы и их сочетания.

Противостоящие, вертикально ориентированные электроды 112E, 114E позволяют газообразным фазам (O₂), образующимся вблизи них, отсоединяться от них и физически отделяться от анода 112 из-за плавучести газовых пузырьков O₂ в расплавленном солевом электролите 22. Поскольку пузырьки могут свободно уходить с поверхностей анода 112, они не накапливаются на поверхностях анода с образованием электроизолирующего/резистивного слоя, допускающего нарастание электрического потенциала, приводящего в результате к высокому сопротивлению и высокому потреблению энергии. Аноды 112E могут быть расположены рядами или столбцами с или без промежутка бок о бок или зазора между ними, создавая канал, который повышает движение расплавленного электролита, тем самым улучшая массоперенос и давая возможность растворенному глинозему достигать поверхности анодного модуля 112. Число рядов анодов 112E может варьироваться от 1 до любого выбранного числа, и число анодов 112E в ряду может варьироваться от 1 до любого числа. Катоды 114E могут быть аналогично расположены рядами с или без промежутка бок о бок (зазоров) между ними и могут аналогично варьироваться по числу рядов и числу катодов 114E в ряду от 1 до любого числа.

На фиг. 4 показан электролизер 10 по фиг. 1 в ориентации, допускающей визуализацию МПП (X1, X2) и перекрытия Y.

На фиг. 5 показаны два ряда анодной матрицы анодных модулей 212 и катодных модулей 214, подобных тем, которые показаны на фиг. 1 и 2. У анодных модулей 212 и катодных модулей 214, имеющих диапазон размеров, описанных выше со ссылкой на фиг. 1 и 2, число анодных модулей 212 и катодных модулей 214 в матрице может быть в диапазоне от 1 до 64, в некоторых вариантах осуществления от 2 до 48, а в некоторых вариантах осуществления от 8 до 48, которые будут размещаться в электролизной ванне 16 (фиг. 1).

На фиг. 6 показан анодно-катодный модуль 412, расположенный внутри электролизера 410 в соответствии с другим вариантом осуществления настоящего изобретения. Анодный модуль 412 имеет пять рядов анодов 412E, которые расположены близко друг к другу (близко расставлены) или соприкасаются бок о бок на более длинной протяженности анодного модуля 412. Три центральных ряда анодов имеют по девять анодов 412E, а два внешних ряда - по восемь анодов 412E, чтобы поместились скошенные кромки 412C. Скошенные кромки 412C могут использоваться для того, чтобы обеспечить возможность добавления глинозема или выпуска металлического алюминия. Четыре ряда катодов 414E, по четыре в каждом ряду, чередуются (перемежаются) с рядами анодов 412E.

Расстояние между анодами и катодами (МПП) является и единообразным, и одинаковым с обеих сторон от анодов 412E и катодов 414E, т.е. X1 и X2 приблизительно равны и могут меняться по величине так, как описано выше со ссылкой на фиг. 3. Как отмечено выше, настоящее изобретение предполагает, что МПП может быть регулируемым, так что X1 и X2 не равны. Как отмечено выше, анодный модуль 412 может быть регулируемым по высоте относительно катодного модуля 414. Результирующее перекрытие Y (см. фиг. 3) может меняться по величине так, как описано выше со ссылкой на фиг. 3.

На фиг. 7 показана серия схематических изображений поперечных сечений множества различных анодов 512E, 612E, 712E, 812E и 912E в соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения. Анод 512E имеет прямоугольную форму поперечного сечения и может иметь размеры в диапазоне от 1 дюйма до 75 дюймов по ширине (W), от 5 до 100 дюймов по высоте (в плоскости и из плоскости чертежа) и от 1/4 дюйма до 10 дюймов по толщине (T). В некоторых вариантах осуществления прямоугольная форма поперечного сечения может иметь ширину от 20 до 75 дюймов, от 40 до 75 дюймов, от

60 до 75 дюймов, от 1 до 55 дюймов, от 1 до 35 дюймов или от 1 до 15 дюймов. В некоторых вариантах осуществления прямоугольная форма поперечного сечения может иметь высоту от 5 до 80 дюймов, от 5 до 60 дюймов, от 5 до 40 дюймов, от 5 до 20 дюймов, от 20 до 100 дюймов, от 40 до 100 дюймов, от 60 до 100 дюймов или от 80 до 100 дюймов. В некоторых вариантах осуществления прямоугольная форма поперечного сечения может иметь толщину от 1 до 10 дюймов, от 2 до 10 дюймов, от 4 до 10 дюймов, от 6 до 10 дюймов, от 8 до 10 дюймов, от 1 до 8 дюймов, от 1 до 6 дюймов, от 1 до 4 дюймов, от 1 до 2 дюймов.

Анод 612E имеет прямоугольную форму поперечного сечения с закругленными углами и может иметь размеры в диапазоне от 1 до 75 дюймов по ширине, от 5 до 100 дюймов по высоте (в плоскость и из плоскости чертежа), от 1/4 до 10 дюймов по толщине и радиус кривизны R1 от 1/8 дюйма до 1 дюйма. В некоторых вариантах осуществления прямоугольная форма поперечного сечения с закругленными углами может иметь ширину от 20 до 75 дюймов, от 40 до 75 дюймов, от 60 до 75 дюймов, от 1 до 55 дюймов, от 1 до 35 дюймов или от 1 до 15 дюймов. В некоторых вариантах осуществления прямоугольная форма поперечного сечения с закругленными углами может иметь высоту от 5 до 80 дюймов, от 5 до 60 дюймов, от 5 до 40 дюймов, от 5 до 20 дюймов, от 20 до 100 дюймов, от 40 до 100 дюймов, от 60 до 100 дюймов или от 80 до 100 дюймов. В некоторых вариантах осуществления прямоугольная форма поперечного сечения с закругленными углами может иметь толщину от 1 до 10 дюймов, от 2 до 10 дюймов, от 4 до 10 дюймов, от 6 до 10 дюймов, от 8 до 10 дюймов, от 1 до 8 дюймов, от 1 до 6 дюймов, от 1 до 4 дюймов, от 1 до 2 дюймов. В некоторых вариантах осуществления прямоугольная форма поперечного сечения с закругленными углами может иметь радиус кривизны R1 от 1/4 до 1 дюйма, от 1/2 до 1 дюйма, от 1/8 до 1/2 дюйма или от 1/8 до 1/4 дюйма.

Анод 712E имеет скругленную прямоугольную форму поперечного сечения с закругленными концами и может иметь размеры в диапазоне от 1 до 50 дюймов по ширине, от 5 до 75 дюймов по высоте (в плоскость и из плоскости чертежа), от 1/4 до 6 дюймов по толщине и радиус кривизны R2 от 1/8 до 3 дюймов. В некоторых вариантах осуществления скругленная прямоугольная форма поперечного сечения с закругленными концами может иметь ширину от 10 до 50 дюймов, от 20 до 50 дюймов, от 30 до 50 дюймов, от 40 до 50 дюймов, от 1 до 40 дюймов, от 1 до 30 дюймов, или от 1 до 20 дюймов, от 1 до 10 дюймов. В некоторых вариантах осуществления скругленная прямоугольная форма поперечного сечения с закругленными концами может иметь высоту от 5 до 60 дюймов, от 5 до 40 дюймов, от 5 до 20 дюймов, от 5 до 10 дюймов, от 20 до 75 дюймов, от 40 до 75 дюймов или от 60 до 75 дюймов. В некоторых вариантах осуществления скругленная прямоугольная форма поперечного сечения может иметь толщину от 1 до 6 дюймов, от 2 до 6 дюймов, от 4 до 6 дюймов, от 1/4 до 4 дюймов, от 1/4 до 2 дюймов или от 1/4 до 1 дюйма. В некоторых вариантах осуществления скругленная прямоугольная форма поперечного сечения с закругленными концами может иметь радиус кривизны R2 от 1/8 до 3 дюймов, от 1/8 до 2 дюймов, от 1/8 до 1 дюйма, от 1 до 3 дюймов или от 2 до 3 дюймов.

Анод 812E имеет эллиптическую форму поперечного сечения с большой осью A1 в диапазоне от 1 до 30 дюймов, малой осью A2 в диапазоне от 1/4 до 5 дюймов и высоту в диапазоне от 5 до 50 дюймов. В некоторых вариантах осуществления эллиптическая форма поперечного сечения имеет большую ось A1 в диапазоне от 1 до 20 дюймов, от 1 до 10 дюймов, от 1 до 5 дюймов, от 5 до 30 дюймов, от 10 до 30 дюймов или от 20 до 30 дюймов. В некоторых вариантах осуществления эллиптическая форма поперечного сечения имеет малую ось A2 в диапазоне от 1/4 до 3 дюймов, от 1/4 до 1 дюйма, от 1 до 5 дюймов или от 3 до 5 дюймов. В некоторых вариантах осуществления эллиптическая форма поперечного сечения имеет высоту в диапазоне от 5 до 40 дюймов, от 5 до 30 дюймов, от 5 до 20 дюймов, от 5 до 10 дюймов, от 10 до 40 дюймов, от 20 до 40 дюймов или от 30 до 40 дюймов.

Анод 912E имеет круглую форму поперечного сечения с радиусом R3 в диапазоне от 1/4 до 6 дюймов и высотой в диапазоне от 5 до 75 дюймов. В некоторых вариантах осуществления круглая форма поперечного сечения имеет радиус R3 в диапазоне от 1 до 6 дюймов, от 3 до 6 дюймов, от 5 до 6 дюймов, от 1/4 до 4 дюймов, от 1/4 до 2 дюймов или от 1/4 до 1 дюйма.

Хотя каждое из поперечных сечений анодов 512E-912E, показанных на фиг. 11, может быть единообразным (постоянным) по длине соответствующего анода 512E-912E, поперечное сечение также может меняться по длине (высоте) анода, например анод может суживаться в любом данном направлении, совершать периодическую вариацию или иным образом варьироваться по толщине и/или ширине поперечного сечения вдоль его длины (высоты).

На фиг. 8 показана серия схематических изображений поперечных сечений множества различных катодов 1014E, 1114E, 1214E, 1314E и 1414E в соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения. Катод 1014E имеет прямоугольную форму поперечного сечения и может иметь размеры в диапазоне от 1 до 75 дюймов по ширине (W), от 5 до 100 дюймов по высоте (в плоскость и из плоскости чертежа) и от 1/8 до 5 дюймов по толщине (T). В некоторых вариантах осуществления прямоугольная форма поперечного сечения может иметь ширину от 20 до 75 дюймов, от 40 до 75 дюймов, от 60 до 75 дюймов, от 1 до 55 дюймов, от 1 до 35 дюймов или от 1 до 15 дюймов. В некоторых вариантах осуществления прямоугольная форма поперечного сечения может иметь высоту от 5 до 80 дюймов, от 5 до 60 дюймов, от 5 до 40 дюймов, от 5 до 20 дюймов, от 20 до 100 дюймов, от 40 до 100 дюймов, от 60 до 100

дюймов или от 80 до 100 дюймов. В некоторых вариантах осуществления прямоугольная форма поперечного сечения может иметь толщину от 1 до 10 дюймов, от 2 до 10 дюймов, от 4 до 10 дюймов, от 6 до 10 дюймов, от 8 до 10 дюймов, от 1 до 8 дюймов, от 1 до 6 дюймов, от 1 до 4 дюймов, от 1 до 2 дюймов.

Катоды 1114E имеют прямоугольную форму поперечного сечения и могут иметь размеры в диапазоне от 1 до 40 дюймов по ширине (W), от 5 до 75 дюймов по высоте (в плоскость и из плоскости чертежа) и от 1/8 до 5 дюймов по толщине. Они расположены бок о бок (разнесены) с зазором G1, имеющим размеры в диапазоне от 1/16 до 5 дюймов. В некоторых вариантах осуществления прямоугольная форма поперечного сечения может иметь ширину от 1 до 30 дюймов, от 1 до 20 дюймов, от 1 до 10 дюймов, от 10 до 40 дюймов, от 20 до 40 дюймов или от 30 до 40 дюймов. В некоторых вариантах осуществления прямоугольная форма поперечного сечения может иметь высоту от 5 до 60 дюймов, от 5 до 40 дюймов, от 5 до 20 дюймов, от 20 до 75 дюймов, от 40 до 75 дюймов или от 60 до 75 дюймов. В некоторых вариантах осуществления прямоугольная форма поперечного сечения может иметь толщину от 1 до 5 дюймов, от 3 до 5 дюймов, от 1/8 до 3 дюймов или от 1/8 до 1 дюйма. В некоторых вариантах осуществления прямоугольная форма поперечного сечения может иметь зазор G1 с размерами в диапазоне от 1 до 5 дюймов, от 3 до 5 дюймов, от 1/16 до 3 дюймов или от 1/16 до 1 дюйма.

Катоды 1214E имеют круглую форму поперечного сечения и могут иметь размеры в диапазоне от 1/8 до 3 дюймов по радиусу и от 5 до 75 дюймов по высоте (в плоскость и из плоскости чертежа). Они отстоят один от другого (разнесены) с зазором G2, имеющим размеры в диапазоне от 1/16 до 2 дюймов. В некоторых вариантах осуществления круглая форма поперечного сечения может иметь радиус от 1/8 до 2 дюймов, от 1/8 до 1 дюйма, от 1 до 3 дюймов или от 2 до 3 дюймов. В некоторых вариантах осуществления круглая форма поперечного сечения может иметь высоту от 20 до 75 дюймов, от 40 до 75 дюймов, от 60 до 75 дюймов, от 5 до 55 дюймов, от 5 до 35 дюймов или от 5 до 15 дюймов. В некоторых вариантах осуществления круглая форма поперечного сечения может иметь зазор G2 с размерами в диапазоне от 1/8 до 2 дюймов, от 1/4 до 2 дюймов, от 1 до 2 дюймов, от 1/16 до 1 дюйма, от 1/16 до 1/4 дюйма или от 1/16 до 1/8 дюйма.

Катоды 1314E имеют скругленную прямоугольную форму поперечного сечения с закругленными концами и могут иметь размеры в диапазоне от 1/4 до 3 дюймов по ширине (W), от 5 до 75 дюймов по высоте (в плоскость и из плоскости чертежа) и от 1/8 до 3 дюймов по толщине. Они отстоят один от другого (разнесены) с зазором G3, имеющим размеры в диапазоне от 1/16 до 3 дюймов. В некоторых вариантах осуществления скругленная прямоугольная форма поперечного сечения может иметь ширину от 1/4 до 2 дюймов, от 1/4 до 1 дюйма, от 1/4 до 1/2 дюйма, от 1/2 до 3 дюймов, от 1 до 3 дюймов или от 2 до 3 дюймов. В некоторых вариантах осуществления скругленная прямоугольная форма поперечного сечения может иметь высоту от 5 дюймов до 60 дюймов, от 5 дюймов до 40 дюймов, от 5 дюймов до 20 дюймов, от 20 дюймов до 75 дюймов, от 40 дюймов до 75 дюймов или от 60 дюймов до 75 дюймов. В некоторых вариантах осуществления скругленная прямоугольная форма поперечного сечения может иметь толщину от 1/8 до 3 дюймов, от 1/4 до 3 дюймов, от 1 до 3 дюймов, от 1/8 до 2 дюймов, от 1/8 до 1 дюйма, от 1/8 до 1/2 дюйма или от 1/8 до 1/4 дюйма. В некоторых вариантах осуществления скругленная прямоугольная форма поперечного сечения может иметь зазор G3 с размерами в диапазоне от 1/16 до 2 дюймов, от 1/16 до 1 дюйма, от 1/16 до 1/2 дюйма, от 1/8 до 3 дюймов, от 1/4 до 3 дюймов или от 1 до 3 дюймов.

Катоды 1414E имеют эллиптическую форму поперечного сечения и могут иметь размеры с большей осью в диапазоне от 1 до 8 дюймов, малой осью в диапазоне от 1/4 до 3 дюймов и высотой в диапазоне от 5 до 75 дюймов. В некоторых вариантах осуществления эллиптическая форма поперечного сечения имеет большую ось в диапазоне от 1 до 6 дюймов, от 1 до 4 дюймов, от 1 до 2 дюймов, от 2 до 8 дюймов, от 4 до 8 дюймов или от 6 до 8 дюймов. В некоторых вариантах осуществления эллиптическая форма поперечного сечения имеет малую ось в диапазоне от 1/4 до 2 дюймов, от 1/4 до 1 дюйма, от 1/2 до 3 дюймов или от 1 до 3 дюймов. В некоторых вариантах осуществления эллиптическая форма поперечного сечения имеет высоту в диапазоне от 5 до 60 дюймов, от 5 до 40 дюймов, от 5 до 20 дюймов, от 5 до 10 дюймов, от 20 до 75 дюймов, от 40 до 75 дюймов или от 60 до 75 дюймов.

На фиг. 9-13 показаны схематические изображения множества различных чередующихся анодов и катодов в соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения. Как показано на фиг. 9-13, ряды анодов 1512E... 2412E и ряды катодов 1514E... 2414E (и каналы между ними, которые ограничены ими) могут быть расположены рядами, которые могут иметь выбранную ориентацию относительно данного электролизера 10. На фиг. 9 показаны две анодно-катодных конфигурации A и B, каждая из которых снабжена удлиненными прямоугольными теплоизоляционными слоями 1512B, 1612B. Анодный модуль 1512 имеет пять рядов анодов 1512E, по десять в ряду, которые близко расставлены или соприкасаются бок о бок вдоль более длинного размера анодного модуля 1512. Четыре ряда катодов 1514E, по четыре в каждом ряду, чередуются с рядами анодов 1512E. Анодный модуль 1612 имеет восемь рядов анодов 1612E, по три в одном ряду, которые близко расставлены или соприкасаются бок о бок вдоль более короткого размера анодного модуля 1612. Семь рядов катодов 1614E, по два в каждом ряду, чередуются с рядами анодов 1612E.

На фиг. 10 показаны две анодно-катодных конфигурации A и B, каждая из которых снабжена пря-

моугольными теплоизоляционными слоями 1712В, 1812В со скосами С. Анодный модуль 1712 имеет шесть рядов анодов 1712Е с круглой формой поперечного сечения. Каждый ряд, который вытянут вдоль меньшего размера анодного модуля 1712, имеет восемь анодов 1712Е, за исключением ряда возле скосов С, который имеет шесть. Аноды 1712Е разнесены вдоль более короткого размера анодного модуля 1712. Пять рядов катодов 1714Е с поперечным сечением в целом прямоугольной формы, причем каждый ряд имеет по четыре катода 1714Е, чередуются с рядами анодов 1712Е. Анодный модуль 1812 имеет четыре ряда анодов 1812Е, имеющих круглую форму поперечного сечения, либо с двенадцатью (центральные ряды), либо с одиннадцатью анодами (концевые ряды вблизи скоса) в ряду, которые близко расставлены вдоль более длинного размера анодного модуля 1812. Три ряда катодов 1814Е, по три катода 1814Е в каждом ряду, чередуются с рядами анодов 1812Е.

На фиг. 11 показаны две анодно-катодные конфигурации А и В, каждая из которых снабжена прямоугольными теплоизоляционными слоями 1912В, 2012В со скосами С. Анодный модуль 1912 имеет шесть рядов анодов 1912Е с круглой формой поперечного сечения. Каждый ряд, который вытянут вдоль меньшего размера анодного модуля 1912, имеет восемь анодов 1912Е, за исключением ряда возле скосов С, который имеет шесть. Аноды 1912Е разнесены вдоль более короткого размера анодного модуля 1912. Пять рядов катодов 1914Е с поперечным сечением в целом прямоугольной формы, причем каждый ряд имеет шесть катодов 1914Е, чередуются с рядами анодов 1912Е. Анодный модуль 2012 имеет четыре ряда анодов 2012Е с круглой формой поперечного сечения, либо с двенадцатью (центральные ряды), либо с одиннадцатью анодами (концевые ряды вблизи скоса) в каждом ряду, которые близко расставлены вдоль более длинного размера анодного модуля 2012. Три ряда катодов 2014Е, по девять катодов 2014Е в каждом ряду, чередуются с рядами анодов 2012Е.

На фиг. 12 показаны две анодно-катодные конфигурации А и В, каждая из которых снабжена прямоугольными теплоизоляционными слоями 2112В, 2212В со скосами С. Анодный модуль 2112 имеет шесть рядов анодов 2112Е с круглой формой поперечного сечения. Каждый ряд, который вытянут вдоль меньшего размера анодного модуля 2112, имеет восемь анодов 2112Е, за исключением ряда вблизи скосов С, который имеет шесть. Аноды 2112Е разнесены вдоль более короткого размера анодного модуля 2112. Пять рядов катодов 2114Е с в целом круглой формой поперечного сечения, причем каждый ряд имеет по пятнадцать катодов 2114Е, за исключением ближайшего к скосам ряда, который имеет тринадцать, чередуются с рядами анодов 2112Е. Анодный модуль 2212 имеет четыре ряда анодов 2212Е с круглой формой поперечного сечения, либо с двенадцатью (центральные ряды), либо с одиннадцатью анодами (концевые ряды вблизи скоса) в каждом ряду, которые близко расставлены вдоль более длинного размера анодного модуля 2212. Три ряда катодов 2214Е, имеющих круглую форму поперечного сечения, либо с двадцатью тремя катодами (центральный ряд), либо с двадцатью двумя (концевые ряды) в ряду, чередуются с рядами анодов 2212Е.

На фиг. 13 показаны две анодно-катодные конфигурации А и В, каждая из которых снабжена прямоугольными теплоизоляционными слоями 2312В, 2412В со скосами С. Анодный модуль 2312 имеет шесть рядов анодов 2312Е с круглой формой поперечного сечения. Каждый ряд, который вытянут вдоль меньшего размера анодного модуля 2312, имеет восемь анодов 2312Е, за исключением ряда возле скосов С, который имеет шесть. Аноды 2312Е разнесены в рядах вдоль более короткого размера анодного модуля 2312. Пять рядов катодов 2314Е с поперечным сечением в целом прямоугольной формы с закругленными концами, по восемь катодов 2314Е в каждом ряду, чередуются с рядами анодов 2312Е. Анодный модуль 2412 имеет четыре ряда анодов 2412Е с круглой формой поперечного сечения, либо с двенадцатью (центральные ряды), либо с одиннадцатью анодами (концевые ряды вблизи скоса) в каждом ряду, которые близко расставлены вдоль более длинного размера анодного модуля 2412. Три ряда катодов 2414Е с прямоугольной формой поперечного сечения с закругленными концами, по двенадцать катодов в каждом ряду, чередуются с рядами анодов 2412Е.

Описанные выше электроды в раскрытых диапазонах размеров могут быть использованы для получения металлического алюминия с чистотой Р1020 или лучше. Увеличенная площадь поверхности электродов на единицу объема электролизера может привести к более высоким темпам производства. Описанные выше электродные конструкции могут устранить или уменьшить образование CO_2 и снизить выбросы загрязняющих веществ, образующиеся при выплавке методом Холла-Эру, таких как CF_4 и SO_2 .

В некоторых вариантах осуществления способ получения металлического алюминия электрохимическим восстановлением глинозема включает: (а) пропускание тока между анодом и катодом через электролитную ванну электролизера, причем этот электролизер содержит: (i) по меньшей мере один анодный модуль, имеющий множество анодов, причем каждый из множества анодов является выделяющим кислород анодом, (ii) по меньшей мере один катодный модуль, противостоящий анодному модулю, причем упомянутый по меньшей мере один катодный модуль содержит множество катодов, причем каждый из множества анодов и каждый из множества катодов имеют на себе поверхности, которые ориентированы вертикально и разнесены одна от другой, причем катоды являются смачиваемыми, и причем упомянутый по меньшей мере один катодный модуль соединен с подиной электролизера, (iii) электролитную ванну, (iv) электролит, расположенный внутри электролитной ванны, и (v) слой металла, расположенный внутри электролитной ванны, при этом множество анодов, по меньшей мере, частично погружены в электро-

лит и подвешены над катодным модулем и проходящими вниз к катодному модулю, при этом множество катодов полностью погружены в электролит, при этом множество катодов расположены в электролизной ванне проходящими вверх к анодному модулю, при этом каждый из множества анодов и каждый из множества катодов расположены поочередно внутри электролизной ванны, при этом множество анодов является избирательно позиционируемым в горизонтальном направлении относительно смежных катодов, при этом анодный модуль является избирательно позиционируемым в вертикальном направлении относительно катодного модуля, и при этом часть каждого из анодных электродов перекрывает часть смежных катодов; (b) подачу исходного материала в электролизер и (c) регулирование анодного модуля в вертикальном направлении относительно катодного модуля.

В некоторых вариантах осуществления описанного выше способа исходный материал электролитически восстанавливают до продукта-металла. В некоторых вариантах осуществления описанного выше способа продукт-металл стекает с катодов на подину электролизера, формируя слой металла. В некоторых вариантах осуществления описанного выше способа получают продукт-металл со степенью чистоты P1020. В некоторых вариантах осуществления описанного выше способа регулирование анодного модуля включает поднимание упомянутого по меньшей мере одного анодного модуля для уменьшения перекрытия части каждого из анодных электродов относительно части смежных катодов (например, уменьшения перекрытия анод-катод (ПАК)). В некоторых вариантах осуществления описанного выше способа регулирование анодного модуля включает в себя опускание упомянутого по меньшей мере одного анодного модуля для увеличения перекрытия части каждого из анодных электродов относительно части смежных катодов (например, увеличения перекрытия анод-катод (ПАК)).

В некоторых вариантах осуществления способ получения металлического алюминия электрохимическим восстановлением глинозема включает: (a) пропускание тока между анодом и катодом через электролитную ванну электролизера, причем этот электролизер содержит: (i) по меньшей мере один анодный модуль, имеющий множество анодов, причем каждый из множества анодов является выделяющим кислород анодом, (ii) по меньшей мере один катодный модуль, противостоящий анодному модулю, причем упомянутый по меньшей мере один катодный модуль содержит множество катодов, причем каждый из множества анодов и каждый из множества катодов имеют на себе поверхности, которые ориентированы вертикально и разнесены одна от другой, причем катоды являются смачиваемыми, и при этом упомянутый по меньшей мере один катодный модуль соединен с подиной электролизера, (iii) электролизную ванну, (iv) электролит, расположенный внутри электролизной ванны, и (v) слой металла, расположенный внутри электролизной ванны, при этом множество анодов по меньшей мере частично погружены в электролит и подвешены над катодным модулем и проходящими вниз к катодному модулю, при этом множество катодов полностью погружены в электролит, при этом множество катодов расположены в электролизной ванне проходящими вверх к анодному модулю, при этом каждый из множества анодов и каждый из множества катодов расположены поочередно внутри электролизной ванны, при этом множество анодов является избирательно позиционируемым в горизонтальном направлении относительно смежных катодов, при этом анодный модуль является избирательно позиционируемым в вертикальном направлении относительно катодного модуля, и при этом часть каждого из анодных электродов перекрывает часть смежных катодов; (b) подачу исходного материала в электролизер и (c) регулирование множества анодов в горизонтальном направлении относительно смежных катодов.

В некоторых вариантах осуществления описанного выше способа множество анодов регулируют в горизонтальном направлении так, что горизонтальное расстояние (например, расстояние между анодом и катодом (МПП)) является одинаковым или по существу аналогичным по обе стороны от анодов в анодном модуле (т.е. при измерении МПП по обе стороны от анода в анодном модуле до катодов, расположенных с противоположных сторон от этого анода). В некоторых вариантах осуществления описанного выше способа исходный материал электролитически восстанавливают до продукта-металла.

В некоторых вариантах осуществления описанного выше способа продукт-металл стекает с катодов на подину электролизера, формируя слой металла. В некоторых вариантах осуществления описанного выше способа получают продукт-металл со степенью чистоты P1020.

Регулирование вертикального или горизонтального положения анодного модуля, как описано в приведенных выше вариантах осуществления, обеспечивает повышенный электрический КПД при электролитическом производстве металла. Регулирование вертикального или горизонтального положения анодного модуля, как описано в приведенных выше вариантах осуществления, также обеспечивает сниженное падение напряжения на электролизере (например, сниженное электрическое сопротивление). Регулирование вертикального или горизонтального положения анодного модуля, как описано в приведенных выше вариантах осуществления, также обеспечивает скорректированную температуру электролизера, скорректированную скорость подачи исходного материала и/или оптимизированные рабочие параметры электролизера.

Понятно, что описанные здесь варианты осуществления являются лишь иллюстративными и что специалист в данной области техники сможет проделать множество вариаций и модификаций без отступления от сущности и объема раскрытого объекта изобретения. Все такие вариации и модификации предназначены быть включенными в объем раскрытия.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Электролизер для производства металлического алюминия электрохимическим восстановлением глинозема, содержащий

по меньшей мере один анодный модуль, имеющий множество вертикальных анодов, причем каждый из упомянутого множества вертикальных анодов является выделяющим кислород электродом;

по меньшей мере один катодный модуль, противостоящий анодному модулю, причем упомянутый по меньшей мере один катодный модуль содержит множество вертикальных катодов, причем каждый из упомянутого множества вертикальных анодов и каждый из упомянутого множества вертикальных катодов имеют на себе вертикальные поверхности, которые разнесены одна от другой, причем катоды являются смачиваемыми, причем упомянутый по меньшей мере один катодный модуль соединен с подиной электролизера и причем часть каждого из анодов перекрывает часть смежных катодов в вертикальном направлении;

электролизную ванну, выполненную с возможностью удерживать внутри себя ванну расплавленного электролита и слой расплавленного металла;

позиционирующий модуль, соединенный с упомянутым по меньшей мере одним анодным модулем, выполненный с возможностью регулировать положение упомянутого по меньшей мере одного анодного модуля в вертикальном направлении относительно катодного модуля и регулировать положение упомянутого множества анодов в горизонтальном направлении относительно смежных катодов,

при этом упомянутое множество анодов установлены с возможностью, по меньшей мере, частично погружения в ванну электролита, когда упомянутое множество анодов подвешены над катодным модулем и простираются вниз к катодному модулю,

при этом упомянутое множество катодов установлены с возможностью полного погружения в ванну электролита,

при этом множество катодов расположены в электролизной ванне проходящими вверх к анодному модулю и

при этом множество анодов и множество катодов расположены с чередованием анодов и катодов внутри электролизной ванны.

2. Электролизер по п.1, в котором упомянутое множество анодов образуют по меньшей мере один ряд на анодном модуле.

3. Электролизер по п.2, в котором упомянутое множество катодов образуют по меньшей мере один ряд на катодном модуле.

4. Электролизер по п.3, в котором смежные аноды в упомянутом по меньшей мере одном ряду анодов имеют между собой зазор.

5. Электролизер по п.4, в котором смежные катоды в упомянутом по меньшей мере одном ряду катодов имеют между собой зазор.

6. Электролизер по п.5, в котором расстояние по горизонтали между двумя смежными по меньшей мере одному ряду анодов и по меньшей мере одному ряду катодов составляет в диапазоне от 1/4 до 6 дюймов.

7. Электролизер по п.1, в котором перекрытие по вертикали анодов и катодов составляет в диапазоне от 1 до 100 дюймов.

8. Электролизер по п.1, в котором анод является пластиной с прямоугольной формой поперечного сечения, которая составляет от 1 до 75 дюймов по ширине, от 5 до 100 дюймов по высоте и от 1/4 до 10 дюймов по толщине.

9. Электролизер по п.1, в котором анод является пластиной с прямоугольной формой поперечного сечения с закругленными углами, имеющей ширину в диапазоне от 1 до 75 дюймов по ширине, от 5 до 100 дюймов по высоте и от 1/4 до 10 дюймов по толщине и радиус закругления угла от 1/8 до 1 дюйма.

10. Электролизер по п.1, в котором анод является пластиной со скругленной прямоугольной формой поперечного сечения с закругленными концами, имеющей ширину в диапазоне от 1 до 75 дюймов по ширине, от 5 до 100 дюймов по высоте и от 1/4 до 10 дюймов по толщине и радиус закругления конца от 1/8 до 3 дюймов.

11. Электролизер по п.1, в котором анод имеет эллиптическую форму поперечного сечения с большой осью в диапазоне от 1 до 30 дюймов, малой осью в диапазоне от 1/4 до 5 дюймов и высотой в диапазоне от 5 до 50 дюймов.

12. Электролизер по п.1, в котором анод имеет круглую форму поперечного сечения с радиусом в диапазоне от 1/4 до 6 дюймов и высотой в диапазоне от 5 до 75 дюймов.

13. Электролизер по п.1, в котором катод является пластиной с прямоугольной формой поперечного сечения, имеющей ширину в диапазоне от 1 до 75 дюймов по ширине, от 5 до 100 дюймов по высоте и от 1/8 до 5 дюймов по толщине.

14. Электролизер по п.1, в котором катодный модуль включает в себя множество катодов, образующих по меньшей мере один ряд на катодном модуле, с зазором между смежными катодами в ряду, и при этом упомянутое множество катодов имеют прямоугольную форму поперечного сечения с размера-

ми в диапазоне от 1 до 40 дюймов по ширине, от 5 до 75 дюймов по высоте и от 1/8 до 5 дюймов по толщине и зазором между ними в диапазоне от 1/16 до 5 дюймов.

15. Электролизер по п.1, в котором катодный модуль включает в себя множество катодов, образующих по меньшей мере один ряд на катодном модуле, с зазором между смежными катодами в ряду, и при этом упомянутое множество катодов имеют круглую форму поперечного сечения с радиусом в диапазоне от 1/8 до 3 дюймов, высотой в диапазоне от 5 до 75 дюймов и зазором между ними в диапазоне от 1/16 до 2 дюймов.

16. Электролизер по п.1, в котором катодный модуль включает в себя множество катодов, образующих по меньшей мере один ряд на катодном модуле, с зазором между смежными катодами в ряду, и при этом упомянутое множество катодов имеют скругленную прямоугольную форму поперечного сечения с размерами в диапазоне от 1/4 до 3 дюймов по ширине, от 5 до 75 дюймов по высоте и от 1/8 до 3 дюймов по толщине и зазором между ними в диапазоне от 1/16 до 3 дюймов.

17. Электролизер по п.1, в котором катодный модуль включает в себя множество катодов, образующих по меньшей мере один ряд на катодном модуле, с зазором между смежными катодами в ряду, и при этом упомянутое множество катодов имеют эллиптическую форму поперечного сечения с малой осью в диапазоне от 1/4 до 3 дюймов, большой осью в диапазоне от 1 до 8 дюймов и высотой в диапазоне от 5 до 75 дюймов и зазором между ними в диапазоне от 1/16 до 3 дюймов.

18. Электролизер по п.1, в котором анодный модуль включает в себя множество анодов, расположенных на анодном модуле в виде матрицы, образующей множество рядов, а катодный модуль включает в себя множество катодов, расположенных на катодном модуле в виде матрицы, образующей множество рядов, причем упомянутое множество рядов анодов и упомянутое множество рядов катодов являются чередующимися и при этом упомянутое множество анодов имеют по меньшей мере одну форму поперечного сечения из прямоугольной, прямоугольной с закругленными кромками, скругленной прямоугольной, круглой или эллиптической, и упомянутое множество катодов имеют по меньшей мере одну форму поперечного сечения из прямоугольной, прямоугольной с закругленными кромками, скругленной прямоугольной, круглой или эллиптической.

19. Электролизер по п.1, в котором анодный модуль имеет профиль в плоскости, перпендикулярной направлению протяженности анодов, с первым размером, превышающим второй размер, и при этом множество рядов анодов расположены параллельно или перпендикулярно первому размеру.

20. Электролизер по п.1, в котором расстояние по вертикали между верхней поверхностью электролита и верхним концом катода составляет в диапазоне от 1/8 до 10 дюймов.

21. Электролизер по любому из пп.1-20, причем позиционирующий модуль содержит по меньшей мере одну пролетную балку, ориентированную перпендикулярно боковой стенке электролизера, причем каждый из упомянутого по меньшей мере одного анодного модуля соединен с одной из упомянутой по меньшей мере одной пролетной балки.

22. Электролизер по п.21, причем каждая из пролетных балок поддерживается опорными элементами, расположенными на противоположных концах пролетной балки, причем позиционирующий модуль дополнительно содержит подъемные системы, соединенные с опорными элементами для поднятия или опускания пролетной балки и упомянутого по меньшей мере одного анодного модуля, соединенного с ней.

23. Электролизер по п.21 или 22, причем каждый из по меньшей мере одного анодного модуля соединен с пролетной балкой с помощью соединительного элемента, имеющего один конец, соединенный с анодным модулем, и противоположный конец, снабженный зажимом, выполненным с возможностью соединять соединительный элемент с пролетной балкой, причем зажим выполнен разжимаемым, обеспечивая возможность зажиму как таковому и соединительному элементу перемещаться вдоль длины пролетной балки, обеспечивая возможность позиционирования упомянутого множества анодов в горизонтальном направлении относительно смежных катодов.

24. Электролизер по любому из пп.1-20, причем позиционирующий модуль содержит по меньшей мере одну мостовую конструкцию, ориентированную перпендикулярно торцевой стенке и параллельно боковым стенкам электролизера, причем упомянутый по меньшей мере один анодный модуль соединен с одной из упомянутой по меньшей мере одной мостовой конструкции.

25. Электролизер по п.24, причем каждая из мостовых конструкций поддерживается вертикальными опорами, расположенными на противоположных площадках торцевой стенки, причем упомянутый по меньшей мере один анодный модуль соединен с упомянутой по меньшей мере одной мостовой конструкцией через соединительное устройство, содержащее первую часть, соединенную с поверхностью анодного модуля.

26. Электролизер по п.25, причем первая часть соединена с поверхностью анодного модуля во множестве точек соединения.

27. Электролизер по п.25 или 26, причем соединительное устройство содержит вторую часть, имеющую первый конец, соединенный с первой частью, и противоположный второй конец, простирающийся вертикально от первой части к мостовой конструкции, причем соединительное устройство дополнительно содержит третью часть, соединенную со вторым концом второй части и выполненную поднимае-

мой или опускаемой, чтобы отрегулировать анодный модуль в вертикальном направлении относительно катодного модуля.

28. Электролизер по любому из пп.24-27, причем соединительное устройство выполнено регулируемым вдоль длины мостовой конструкции, чтобы обеспечить возможность позиционирования упомянутого множества анодов в горизонтальном направлении относительно смежных катодов.

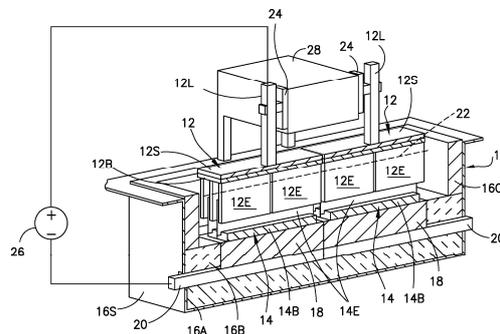
29. Способ получения металлического алюминия электрохимическим восстановлением глинозема, включающий:

(а) пропускание тока между анодом и катодом через ванну электролита электролизера, причем электролизер представляет собой электролизер по любому из пп.1-28;

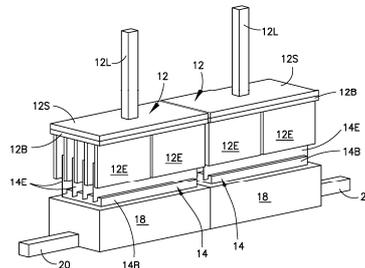
(б) подачу исходного материала в электролизер и

(с) регулирование упомянутого множества анодов в горизонтальном направлении относительно смежных катодов.

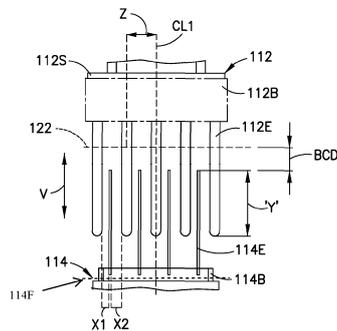
30. Способ по п.29, в котором регулирование упомянутого множества анодов включает регулирование упомянутого множества анодов в горизонтальном направлении так, чтобы горизонтальный интервал был практически одинаковым с любой стороны от анодов в анодном модуле.



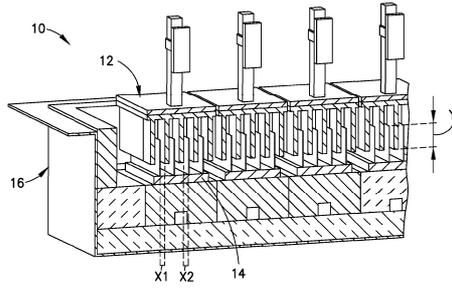
Фиг. 1



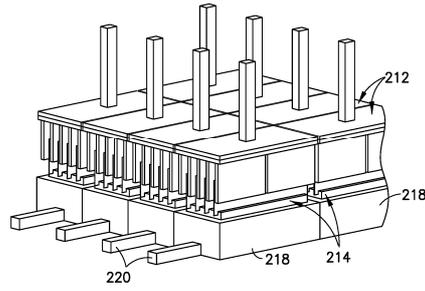
Фиг. 2



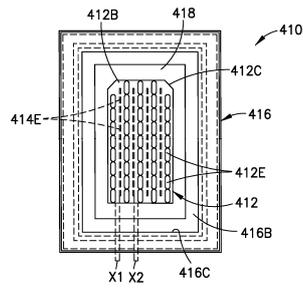
Фиг. 3



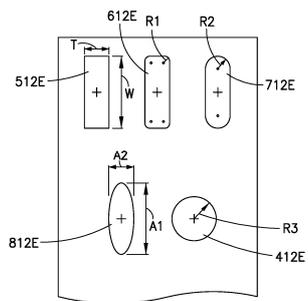
Фиг. 4



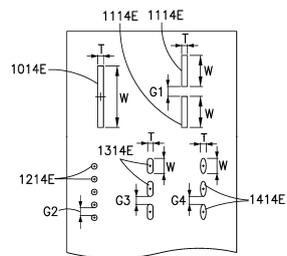
Фиг. 5



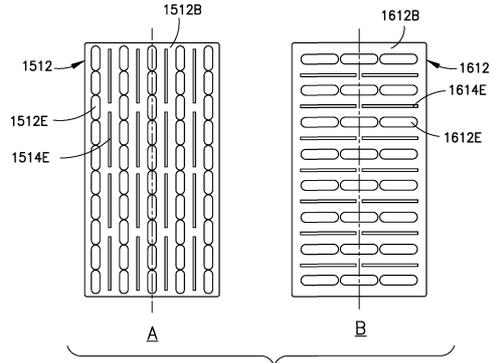
Фиг. 6



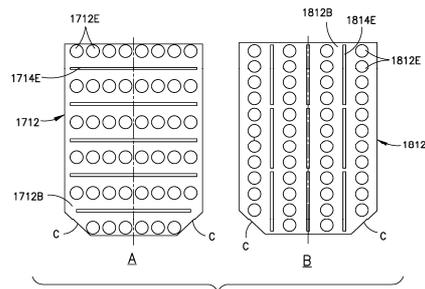
Фиг. 7



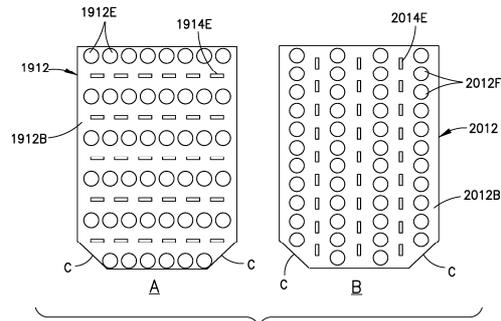
Фиг. 8



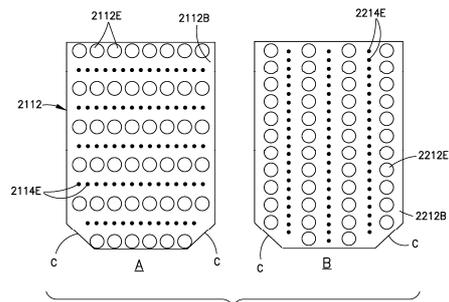
Фиг. 9



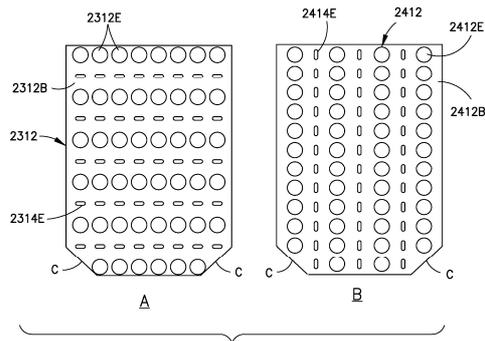
Фиг. 10



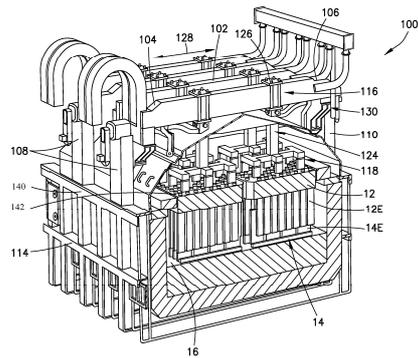
Фиг. 11



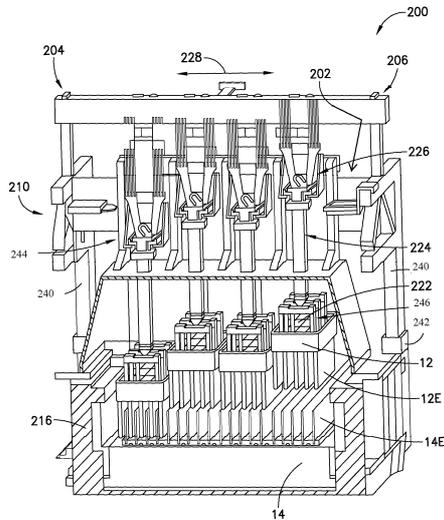
Фиг. 12



Фиг. 13



Фиг. 14



Фиг. 15