

(19)



Евразийское  
патентное  
ведомство

(21) 202391426 (13) A1

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки  
2023.09.21(51) Int. Cl. C25C 3/12 (2006.01)  
C25C 3/08 (2006.01)  
C25C 7/02 (2006.01)(22) Дата подачи заявки  
2021.11.25

## (54) РЕГУЛИРОВАНИЕ ПЛОТНОСТИ ТОКА НА ЭЛЕКТРОДЕ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОЙ ЯЧЕЙКИ

(31) 63/118,774

(72) Изобретатель:

(32) 2020.11.27

Д'Астольфо Лерой, Микельсон Ларри,  
Жуань Иминь (US)

(33) US

(86) PCT/CA2021/051689

(74) Представитель:

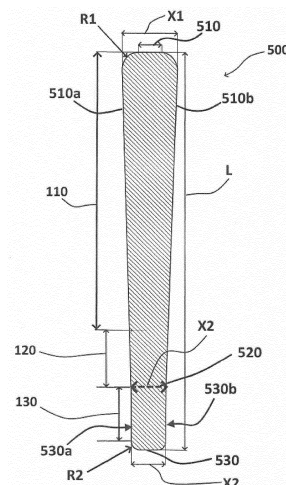
(87) WO 2022/109742 2022.06.02

Тагбергова М.М., Тагбергова А.Т.  
(KZ)

(71) Заявитель:

ЭЛИСИС ЛИМИТЕД  
ПАРТНЕРШИП (СА)

(57) В настоящем изобретении раскрыты устройства и способы регулирования плотности тока на электродах электролитической ячейки при электролитическом получении металла, такого как алюминий. Ячейка содержит анодные и катодные пластины, расположенные вертикально чередующимися рядами. Каждый электрод имеет область соединения для соединения электрода с ячейкой, среднюю область и область ПАК (перекрытие анод-катод), проходящую от средней области для перекрытия соседнего электрода(ов). Отношение площади поверхности области ПАК к площади поверхности средней области превышает единицу. В другом варианте усредненное отношение площади поперечного сечения области ПАК к средней области и области соединения превышает единицу, предпочтительно превышает два. Представленная технология позволяет максимально увеличить плотность тока в области ПАК. Увеличение этих соотношений оказывает меньшее воздействие на окружающую среду за счет снижения выделения тепла и энергопотребления, что делает производство металла экологически чистым, особенно при использовании с инертными электродами или выделяющими кислород электродами.



A1

202391426

202391426

A1

## РЕГУЛИРОВАНИЕ ПЛОТНОСТИ ТОКА НА ЭЛЕКТРОДЕ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОЙ ЯЧЕЙКИ

### **Перекрестные ссылки на родственные заявки**

5 [0001] Настоящая заявка на патент испрашивает приоритет Предварительной заявки на патент США № 63/118,774 под названием “УСТРОЙСТВО И СПОСОБ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПЛОТНОСТИ ТОКА НА ЭЛЕКТРОДАХ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОЙ ЯЧЕЙКИ”, поданной в Ведомство по патентам и товарным знакам США 27 ноября 2020 г., содержание которой полностью включено в настоящий документ посредством ссылки.

### **Область техники, к которой относится изобретение**

10 [0002] Настоящая заявка в целом относится к устройству и способу получения металла электролитическим способом. В частности, устройство и способ предназначены для получения металла, такого как алюминий, с использованием вертикальных электродов из инертных или выделяющих кислород анодов и катодных пластин.

### **Предшествующий уровень техники**

15 [0003] Электролитическая ячейка для производства алюминия или других металлов содержит чередующиеся ряды инертных анодов и смачиваемых инертных катодов в форме плоских пластин, погружаемых в ванну расплавленной соли, обладающей достаточной ионной проводимостью для пропускания тока. Ванна расплавленной соли обладает способностью растворять соединение восстанавливаемого металла (например, оксид металла, хлорид, карбонат и т.д.). Газ, такой как кислород, хлор или углекислый газ, образуется на анодах и выходит из электролитической ячейки в виде отходящего газа. Жидкий металл образуется на катодных пластинах и самотеком стекает тонкой пленкой в ванну или поддон для сбора. Аноды и катодные пластины удалены друг от друга на расстояние, известное как расстояние анод-катод (РАК), и имеют размер перекрытия, известный как перекрытие анод-катод (ПАК).

20 [0004] Катоды представляют собой электропроводящие катодные пластины, химически стойкие к воздействию металла и электролита и обладающие хорошей способностью к смачиванию получаемым металлом. Оптимальная форма и размер катодных пластин зависят от необходимого сопротивления ячейки, плотности тока, размеров анода и ячейки.

25 [0005] Можно было бы просто уменьшить ширину каждой электродной пластины, чтобы повсеместно увеличить плотность тока. Однако простое уменьшение площади электродных пластин во всех областях сопряжено с увеличением сопротивления ячейки и удельного потребления энергии. Это увеличивает выделение тепла и затрудняет или делает невозможным проектирование ячейки с надлежащим тепловым балансом.

30 [0006] Таким образом, существует потребность в новой конфигурации или конструкции электролитической ячейки и способе получения металла, такого как алюминий, посредством увеличения плотности тока электродов.

## **Краткое изложение сущности изобретения**

[0007] Недостатки предшествующего уровня техники, как правило, устраняются за счет нового устройства и способа увеличения плотности тока электродов при получении металла, такого как алюминий, электролитическим способом.

5 [0008] Таким образом, в первом аспекте изобретения предложена электродная пластина для получения металла электролитическим способом с помощью электролитической ячейки, содержащего множество указанных электродных пластин, составляющих анодные и катодные пластины, расположенные вертикально чередующимися рядами указанных анодных и катодных пластин. Электродная пластина имеет: область  
10 соединения, прилегающую к первому концу электродной пластины для соединения электродной пластины с электролитической ячейкой; среднюю область, проходящую от области соединения без перекрытия соседних электродных пластин; и область перекрытия анод-катод (ПАК), проходящую от средней области ко второму концу электродной пластины, противоположному первому концу, и выполненную с  
15 возможностью перекрытия соседних электродных пластин; причем электродная пластина имеет две противоположные поверхности, обращенные к поверхностям электродных пластин соседних рядов; и причем отношение площади поверхности области ПАК к площади поверхности средней области превышает единицу, чтобы максимально увеличить плотность тока в области ПАК. Предпочтительно, соотношение ПАК/средняя поверхность равно или больше 2.

[0009] Согласно предпочтительному варианту осуществления приведенного выше первого аспекта изобретения, электродная пластина может иметь прямоугольную форму, причем ширина электродной пластины не изменяется от области ПАК до средней области и области соединения.

25 [0010] Во втором аспекте изобретения описана электродная пластина для получения металла электролитическим способом с помощью электролитической ячейки, содержащей множество указанных электродных пластин, составляющих анодные и катодные пластины, расположенные вертикально чередующимися рядами указанных анодных и катодных пластин, электродная пластина, имеющая: область соединения,  
30 прилегающую к первому концу электродной пластины для соединения электродной пластины с электролитической ячейкой; среднюю область, проходящую от области соединения без перекрытия соседнего электрода (электродов); и область ПАК, проходящую от средней области и предназначенную для перекрытия соседнего электрода (электродов); причем усредненное отношение площади поперечного сечения  
35 области ПАК к средней области и области соединения превышает единицу, чтобы максимально увеличить плотность тока в области ПАК при сохранении механической прочности области соединения для удержания электродной пластины. Предпочтительно, усредненное соотношение площади поперечного сечения области ПАК/средней области равно или превышает 2.

40 [0011] Приведенные ниже предпочтительные варианты осуществления относятся к

приведенным выше первому и второму аспектам, если не указано иное.

**[0012]** Согласно предпочтительному варианту осуществления, электродная пластина может иметь форму П-образной стойки, в которой средняя область и область соединения образуют пару ножек по обе стороны от нее, с центральным зазором между ножками ниже области ПАК.

**[0013]** Согласно предпочтительному варианту осуществления, электродная пластина может иметь форму лопасти, в которой область ПАК имеет первую ширину, средняя область и область соединения имеют вторую ширину, причем вторая ширина меньше первой ширины.

**[0014]** Согласно предпочтительному варианту осуществления, электродная пластина может иметь трапециевидную форму, причем ширина электродной пластины постоянно уменьшается от второго конца к первому концу электродной пластины.

**[0015]** Согласно предпочтительному варианту осуществления, область ПАК и средняя область электродной пластины имеют трапециевидную форму, причем ширина электродной пластины постоянно уменьшается от второго конца электродной пластины к стыку между средней областью и областью соединения, причем область соединения имеет прямоугольную форму.

**[0016]** Согласно предпочтительному варианту осуществления по первому аспекту изобретения, представленному выше, окаймляющая кромка поверхностей имеет закругленные переходы между первым концом пластины и областью соединения, и/или окаймляющая кромка имеет закругленные переходы между вторым концом и областью ПАК.

**[0017]** Согласно предпочтительному варианту осуществления по второму аспекту изобретения, представленному выше, электродная пластина имеет две противоположные поверхности, обращенные к поверхностям электродных пластин соседних рядов, и окаймляющая кромка поверхностей имеет закругленные переходы между первым концом пластины и областью соединения, и/или окаймляющая кромка имеет закругленные переходы между вторым концом и областью ПАК.

**[0018]** Согласно предпочтительному варианту осуществления, производимым металлом является алюминий, электродная пластина смачивается жидким металлическим алюминием.

**[0019]** Согласно предпочтительному варианту осуществления, электродная пластина представляет собой катодную пластину.

**[0020]** В третьем аспекте изобретения представлена электролитическая ячейка для получения металла электролитическим способом, содержащая одну или несколько электродных пластин, как описано в настоящем изобретении. Предпочтительно, металлом является алюминий.

**[0021]** В третьем аспекте изобретения представлено использование электродной пластины, как описано в настоящем документе, или электролитической ячейки, как описано в настоящем документе, для изготовления электролитической ячейки,

содержащей множество указанных электродных пластин.

5 **[0022]** В четвертом аспекте изобретения представлено использование электродной пластины, как описано в настоящем документе, или электролитической ячейки, как описано в настоящем документе, для получения алюминия электролитическим способом.

10 **[0023]** В пятом аспекте изобретения представлен способ регулирования плотности тока множества электродных пластин, составляющих анодные и катодные пластины, расположенные вертикально чередующимися рядами в электролитической ячейке, причем электродная пластина имеет: область соединения, соединяющую электродную  
15 пластину с электролитической ячейкой; среднюю область, проходящую от области соединения без перекрытия соседнего электрода (электродов); и область ПАК, проходящую от средней области и выполненную с возможностью перекрытия соседнего электрода (электродов); причем каждая электродная пластина имеет поверхность, обращенную к другой электродной пластине соседнего ряда; способ,  
20 включающий этап: максимального увеличения плотности тока в области ПАК путем изменения отношения площади поверхности области ПАК к площади поверхности средней области таким образом, чтобы отношение площади поверхности области ПАК/средней области превышало единицу.

25 **[0024]** В шестом аспекте изобретения представлен способ регулирования плотности тока множества электродных пластин, составляющих анодные и катодные пластины, расположенные вертикально чередующимися рядами в электролитической ячейке, причем электродная пластина имеет: область соединения, соединяющую электродную  
30 пластину с электролитической ячейкой; среднюю область, проходящую от области соединения без перекрытия соседнего электрода (электродов); и область ПАК, проходящую от средней области и выполненную с возможностью перекрытия соседнего электрода (электродов); способ, включающий этап: изготовление электродных пластин, в которых усредненное отношение площади поперечного сечения области ПАК к средней области и области соединения превышает единицу, чтобы максимально увеличить плотность тока в области ПАК при сохранении  
35 механической прочности области соединения для удержания электродной пластины.

**[0025]** В седьмом аспекте изобретения представлен способ максимального увеличения плотности тока электролитической ячейки, содержащего множество электродных пластин, образующих анодные и катодные пластины, расположенные вертикально чередующимися рядами в электролитической ячейке, способ, включающий этапы:  
40 замена каждой из имеющихся электродных пластин ячейки электродной пластиной, как описано в настоящем документе.

**[0026]** Электродные пластины, в частности катодные пластины, как описано в настоящем документе, обеспечивают:

увеличение отношения площади поверхности области ПАК к площади  
40 поверхности средней области за счет уменьшения поверхности или усредненной

площади поперечного сечения областей с более низкой плотностью тока ниже или выше области ПАК, что приводит к уменьшению влияния на выделение тепла и потребление энергии; и/или

5 наличие усредненного отношения площади поперечного сечения области ПАК к средней области и области соединения, превышающего единицу, предпочтительно превышающего два, чтобы максимально увеличить плотность тока в области ПАК при сохранении механической прочности области соединения для удержания электродных пластин в электролитической ячейке.

10 [0027] Кроме того, электродные пластины, в частности катодные пластины, как описано в настоящем документе, могут использоваться для изготовления новых электролитических ячеек, а также для замены электродов существующих электролитических ячеек, чтобы снизить потребление энергии (например, электроэнергии), предоставляя, таким образом, экологически чистый способ производства металла, в частности производство алюминия, более предпочтительно, 15 когда катодные пластины, как описано в настоящем документе, используются совместно с инертными - выделяющими кислород анодами.

#### **Краткое описание чертежей**

20 [0028] Вышеуказанный и другие аспекты, признаки и преимущества изобретения станут более очевидными из следующего описания, при этом делается ссылка на прилагаемые чертежи, на которых:

[0029] На ФИГ. 1А частично представлен схематический поперечный разрез электролитической ячейки, известной из уровня техники;

[0030] На ФИГ. 1В представлен вид сбоку части чередующихся анодного и катодного блоков, известных из уровня техники;

25 [0031] На ФИГ. 2А представлен схематический вид электродной пластины в соответствии с первым вариантом осуществления настоящего изобретения;

[0032] На ФИГ. 2В представлен схематический вид электродной пластины в соответствии со вторым вариантом осуществления настоящего изобретения;

30 [0033] На ФИГ. 2С представлен схематический вид электродной пластины в соответствии с третьим вариантом осуществления настоящего изобретения;

[0034] На ФИГ. 2D представлен схематический вид электродной пластины в соответствии с четвертым вариантом осуществления настоящего изобретения;

[0035] На ФИГ. 3 представлен вид спереди электродной пластины в соответствии с пятым вариантом осуществления настоящего изобретения;

35 [0036] ФИГ. 4 иллюстрирует способ регулирования плотности тока множества электродных пластин в соответствии с предпочтительным вариантом осуществления настоящего изобретения;

40 [0037] ФИГ. 5 иллюстрирует способ регулирования плотности тока множества электродных пластин в соответствии с другим предпочтительным вариантом осуществления настоящего изобретения; и

**[0038]** ФИГ. 6 иллюстрирует способ максимального увеличения плотности тока электролитической ячейки, содержащей множество электродных пластин, в соответствии с предпочтительным вариантом осуществления настоящего изобретения.

#### **Подробное описание предпочтительных вариантов осуществления изобретения**

5 **[0039]** Далее в настоящем документе описываются новое устройство и способ. Хотя изобретения описаны в рамках конкретных иллюстративных вариантов осуществления, следует понимать, что представленные варианты осуществления приведены только в качестве примера и что объем изобретения этим не ограничивается.

10 **[0040]** Используемая здесь терминология соответствует определениям, изложенным ниже.

**[0041]** Выражение "приблизительно" означает, что значение весового процента (мас.%), времени, напряжения, сопротивления, объема или температуры может изменяться в пределах определенного диапазона в зависимости от допустимого предела погрешности способа или устройства, используемого для оценки такого весового

15 процента, времени, напряжения, сопротивления, объема или температуры. Обычно допустимый предел погрешности составляет 10%.

**[0042]** Описание, которое следует далее, и изложенные в нем варианты осуществления представлены в качестве разъяснения примера конкретных вариантов осуществления принципов и аспектов настоящего изобретения. Эти примеры приведены в целях

20 разъяснения принципов изобретения, но не ограничивают их. В последующем описании и на чертежах аналогичные детали и/или этапы обозначены одинаковыми соответствующими ссылочными номерами.

**[0043]** Как указано выше, описанное в настоящем документе изобретение относится к новой конструкции электролитической ячейки, в частности к электродным пластинам,

25 позволяющим увеличить плотность тока.

**[0044]** В ячейках с вертикальным инертным анодом, катодные и анодные пластины расположены параллельно, чередуясь рядами, как показано на фигурах 1А и 1В из патента США US 10,415,147 (LIU Xinghua), содержание которого включено в настоящий документ посредством ссылки.

30 **[0045]** На ФИГ. 1А представлен схематический поперечный разрез электролитической ячейки 10 для получения металла (например, алюминия) путем электрохимического восстановления электролита (например, глинозема, растворенного в расплавленном криолите) с использованием анода и катода. Ячейка 10 имеет, по меньшей мере, один анодный блок 12, содержащий множество вертикально расположенных анодов 12Е,

35 подвешенных над, по меньшей мере, одним катодным блоком 14, имеющим множество вертикально расположенных катодов 14Е, установленных в резервуаре ячейки 16. Вертикально установленные катоды 14Е выступают вверх по направлению к анодному блоку 12. Хотя на фигурах 1А и 1В показано определенное количество множества анодов 12Е и катодов 14Е, для формирования анодного блока 12 или катодного блока

40 14 может использоваться любое количество анодов 12Е и катодов 14Е, большее или

равное 1, соответственно. В некоторых вариантах осуществления, катодный блок 14 жестко соединен с нижней частью ячейки 10, причем катоды 14Е закреплены в катодной опоре 14В, которая расположена в резервуаре 16 ячейки на катодных модулях 18, например, изготовленных из углеродсодержащего материала и электрически связанных с одним или более катодными токоприемными шинами 20. Катодные модули 18 могут быть жестко соединены с нижней частью ячейки 10. Резервуар 16 может иметь стальной корпус 16S с облицовкой из изоляционного материала 16А, огнеупорного материала 16В и облицовочного материала 16С. Резервуар 16 предназначен для размещения в нем ванны с расплавленным электролитом (показано пунктирной линией 22) и слоем жидкого алюминия. Показаны части анодной шины 24, которая подает электрический ток на анодные блоки 12, электрически контактирующие с анодными стержнями 12L анодных блоков 12. Анодные стержни 12L конструктивно и электрически соединены с анодной распределительной плитой 12S, на которую нанесен теплоизоляционный слой 12В. Аноды 12Е проходят через слой тепловой изоляции 12В и вступают в механический и электрический контакт с анодной распределительной плитой 12S. Анодная шина 24 будет проводить постоянный электрический ток от подходящего источника 26 через анодные стержни 12L, анодную распределительную плиту 12S, анодные элементы, электролит 22 к катодам 14Е и оттуда через катодную опору 14В, катодные модули 18 и катодные токоприемные шины 20 к другому полюсу источника электроэнергии 26. Аноды 12Е каждого анодного блока 12 имеют непрерывное электрическое соединение. Аналогично, катоды 14Е каждого катодного блока 14 имеют непрерывное электрическое соединение.

[0046] На ФИГ. 1В показаны анодный блок 12 и катодный блок 14 с чередующимися электродами 12Е и 14Е. Высоту ванны 22 относительно катодов 14 можно назвать “расстоянием ванна-катод” или РВК. Анодный блок 12 можно поднимать и опускать (т.е. устанавливать выборочно) по высоте относительно положения катодного блока 14, как указано двусторонней стрелкой V. В некоторых вариантах осуществления, аноды 12Е не полностью погружены в ванну и проходят через границу раздела 22 ванна-пар при получении металла. Эта возможность регулировки по вертикали позволяет регулировать “перекрытие” Y анодов 12Е и катодов 14Е. Уровень электролитической ванны 22, высота анодов 12Е и катодов 14Е могут потребовать регулировки положения анодного блока 12 относительно катодного блока 14 в вертикальном направлении для достижения выбранного перекрытия анод-катод (ПАК) Y, а также глубины погружения в электролит 22. В некоторых вариантах осуществления, как показано на ФИГ. 1В, аноды 12Е, по меньшей мере, частично погружены в электролит, а катодные электроды 14Е полностью погружены в электролит. Изменяя ПАК Y, можно изменять сопротивление ячейки и поддерживать стабильную температуру ячейки.

[0047] Противоположные вертикально направленные электроды 12Е, 14Е позволяют образующимся поблизости газообразным фазам ( $O_2$ ) отрываться от них и физически отделяться от анодов 12Е благодаря подъемной силе пузырьков газа  $O_2$  в



расплавленном электролите. Поскольку пузырьки могут свободно покидать поверхности анода 12, они не скапливаются на поверхностях анода, образуя электрически изолирующий / резистивный слой, допускающий накопление электрического потенциала, что приводит к высокому сопротивлению и высокому энергопотреблению. Аноды **12E** могут располагаться рядами или колоннами с или без поперечным просветом или зазором между ними для образования канала, который усиливает перемещению расплавленного электролита, тем самым улучшая перенос массы и позволяя растворенному глинозему достигать поверхностей анодного блока **12**. Количество рядов анодов **12E** может варьировать от 1 до любого выбранного числа, а количество анодов **12E** в ряду может варьировать от 1 до любого числа. Катоды **14E** могут аналогичным образом располагаться рядами с поперечным просветом (зазорами) между ними или без него и могут аналогичным образом варьировать по количеству рядов и количеству катодов **14E** в ряду от 1 до любого числа.

**[0048]** Обычно, как вертикальные аноды, так и катоды, показанные на ФИГ. 1A и 1B, имеют форму пластины. Чаще всего это тонкие пластины прямоугольной формы. Более сложные формы, которые могут включать острые углы и быстро меняющиеся поперечные сечения, могут быть местом зарождения трещин, , особенно в периоды термоциклирования.

**[0049]** Впоследствии были разработаны новые формы электродов, которые описаны ниже со ссылкой на Фиг. 2A-D и 3.

**[0050]** Как показано двойными стрелками в левой части Фиг. 2A, электродные пластины 100, 200, 300, 400 могут иметь три области:

- область ПАК **110** (перекрытие анод-катод) (обозначена как “Y” на Фиг. 1B), выполненная с возможностью расположения напротив материала анода и катода, где плотность тока на катодной пластине высока или максимальна для интенсивного производства алюминия;
- средняя область **120**, которая не пересекается с материалом анода или катода, где поверхностная плотность тока на электроде низкая. Средняя область также известна как область РАМ (расстояние анод-металл), когда электродная пластина является катодом, и, как указано выше, как область РВК (расстояние ванна-катод), когда электродная пластина является анодом; и
- область соединения **130**, проходящая от средней области **120**, для соединения электродной пластины **100** с ячейкой. Когда электродная пластина **100** представляет собой катодную пластину, выступающую из нижней части электролитической ячейки **14B** (Фиг. 1B), эта область обычно расположена в слое металла **30** (см. Фиг. 1B). 1B), где поверхностная плотность тока, интенсивно производящая алюминий, равна нулю, и эта область также известна как “область слоя металла” **30**.

- [0051] В результате использования инертных анодов или выделяющих кислород анодов наблюдается увеличение напряжения примерно на 1 вольт и увеличение энергопотребления примерно на 3 кВтч/кг по сравнению с традиционной технологией. Это происходит потому, что инертные аноды выделяют газообразный кислород ( $O_2$ ) вместо газообразной двуокиси углерода ( $CO_2$ ), вырабатываемой углеродными анодами. Эти недостатки можно компенсировать уменьшением плотности тока (как плотности тока на аноде, так и плотности тока на катодной пластине).
- [0052] Такое снижение плотности тока достигается за счет разработки запатентованных материалов для анодных и катодных пластин, которые являются износостойкими. Катодная пластина предпочтительно является смачиваемой жидким металлическим алюминием. Эти запатентованные материалы затем размещают в вертикальном положении, как описано в настоящем документе, что позволяет сохранять такой же ток на квадратный фут площади помещения при меньшей плотности тока на активных поверхностях.
- [0053] Предельное уменьшение средней области **120** сводит к минимуму влияние на сопротивление ячейки и энергоэффективность, поскольку в этой области ток невелик.
- [0054] Предлагаются различные формы вертикальных электродов. При рассмотрении формы электродных пластин, в частности катодных пластин, на которых получают металл, необходимо принимать во внимание сложность, трудоемкость изготовления, а также нежелательность образования трещин и недостаточной прочности.
- [0055] Другой подход заключается в уменьшении средней области **120** электродной пластины **100** настолько, насколько позволяют ее механическая прочность и стойкость. Например, для тонкой электродной пластины, если ее толщина намного меньше длины или ширины и соотношение длины к усредненной ширине составляет от 5 до 10, приблизительно 8 в предпочтительном варианте осуществления, то отношение площади поперечного сечения в верхней части электродной пластины к площади поперечного сечения в нижней части электродной пластины должно быть больше 1, более предпочтительно равно или больше 2.
- [0056] Как показано на ФИГ. 2А, электродная пластина **100** имеет ровную прямоугольную форму, в которой усредненное отношение площади поперечного сечения области ПАК к средней или к нижней области равно 1 (единице). Однако соотношение поверхности между областью ПАК и средней областью можно регулировать или настраивать путем изменения области ПАК, чтобы получить соотношение поверхности, превышающее 1.
- [0057] ФИГ. 2Б, ФИГ. 2С и ФИГ. 2D представляют более сложные формы с большей площадью электродных пластин в областях с высокой плотностью тока и меньшей площадью в областях с низкой плотностью тока. Можно выбрать форму и размеры электродной пластины, которые одновременно оптимизируют напряжение ячейки, энергопотребление и механическую прочность электродной пластины.
- [0058] На ФИГ. 2В представлена электродная пластина **200**, имеющая форму П-

образной стойки с парой узких ножек **210** с обеих сторон, с проемом **220** в средней области и области соединения **120, 130** ниже области ПАК **110**.

5 [0059] На ФИГ. 2С представлена электродная пластина **300**, имеющая форму лопасти, более широкую в области **110** ПАК и более узкую в средней области/области соединения **120, 130**.

[0060] На ФИГ. 2D представлена электродная пластина **400**, имеющая трапециевидную форму, причем ширина электродной пластины неизменно уменьшается от области **110** ПАК к средней области **120** и затем к области соединения **130**.

10 [0061] Форма, которая обеспечивает наибольшую плотность тока, имеет наименьшую площадь в средней области/области соединения **120, 130** ниже области ПАК **110**, такие как форма П-образной стойки **200** и форма лопасти **300**.

15 [0062] Трапециевидная форма **400** на ФИГ. 2D предпочтительно сочетает преимущества максимального увеличения металла, получаемого в верхней области ПАК **110** и простота изготовления (т.е. детали могут быть выполнены сетчатыми без вырезов) с меньшими затратами на изготовление, достаточной прочностью и отсутствием резких изменений поперечного сечения или внутренних вырезов, являющихся источниками образования трещин (т.е. отсутствие слабых мест или мест образования трещин).

20 [0063] Как правило, электродные пластины, представленные в настоящем документе, при использовании в качестве катодной пластины могут быть изготовлены из диборида титана ( $TiB_2$ ) или диборида циркония ( $ZrB_2$ ). Любой электропроводящий материал, стойкий к расплавленному металлу и электролиту и смачиваемый металлом, таким как алюминий, может использоваться в пределах объема настоящего изобретения.

25 [0064] На ФИГ. 4 и ФИГ. 5 также представлен способ **1000** или способ **2000** соответственно для регулирования плотности тока множества электродных пластин, образующих анодные и катодные пластины, расположенных вертикально чередующимися рядами в электролитической ячейке, причем электродная пластина имеет: область соединения, соединяющую электродную пластину с электролитической ячейкой; среднюю область, проходящую от области соединения без перекрытия соседнего электрода (электродов); и область ПАК, проходящую от средней области и выполненную с возможностью перекрытия соседнего электрода (электродов); причем каждая электродная пластина имеет поверхность, обращенную к другой электродной пластине из соседнего ряда.

35 [0065] Как показано на ФИГ. 4, способ **1000** включает этап:  
- максимального увеличения плотности тока в области ПАК путем изменения отношения площади поверхности области ПАК к площади поверхности средней области таким образом, чтобы отношение площади поверхности области ПАК/средней области превышало единицу **1100**.

40 [0066] Как показано на ФИГ. 5, способ **2000** включает этап:  
- изготовление электродных пластин, в которых усредненное отношение

площади поперечного сечения области ПАК к средней области и области соединения превышает единицу, чтобы максимально увеличить плотность тока в области ПАК при сохранении механической прочности области соединения для удержания электродной пластины **2100**.

- 5 [0067] На ФИГ. 6 также представлен способ **3000** максимального увеличения плотности тока электролитической ячейки, содержащей множество электродных пластин, образующих анодные и катодные пластины, расположенные вертикально чередующимися рядами в электролитической ячейке. Способ **3000**, включающий этап:
- 10 - замена каждой из имеющихся электродных пластин ячейки электродной пластиной, как описано в настоящем документе **3100**.

#### ПРИМЕР

[0068] На ФИГ. 3 представлен пример электродной пластины **500** в соответствии с предпочтительным вариантом осуществления настоящего изобретения, содержащей также область ПАК **110**, область соединения **130** и среднюю область **120**, проходящую между ними.

[0069] Электродная пластина **500** и трапециевидная электродная пластина **400** на ФИГ. 2D отличаются тем, что противоположные края **530a**, **530b** области соединения **130** пластины **500** параллельны друг другу. Ширина электродной пластины **500** непрерывно уменьшается от **X1** на верхнем конце **510** области ПАК **110** до **X2** на нижнем конце **520** средней области **120**, причем нижняя часть **530** пластины образует область соединения **130**, имеющую прямоугольную форму с параллельными краями **530a**, **530b**.

[0070] Согласно предпочтительному варианту осуществления, как показано на ФИГ. 3, пластина **500** может дополнительно иметь округлый переходный участок между верхним концом **510** и каждым из двух противоположных краев **510a**, **510b** области ПАК **110**, обозначенный радиусом **R1**. Кроме того, пластина **500** может иметь округлый переходный участок между нижним торцевым концом **530** и каждым из двух противоположных краев **530a**, **530b** области соединения **130**, обозначенный радиусом **R2**. Такие округлые переходные участки **R1** и/или **R2** позволяют избежать появления слабых мест или мест образования трещин на электродных пластинах **500**.

30 [0071] В Таблице 1 ниже приведены некоторые размеры электродных пластин **500**, показанных на ФИГ. 3, причем **L** обозначает общую длину электродной пластины.

[0072] Таблица 1: Пример электродной пластины (ФИГ. 3)

Длина (L)	581,8 ± 7,5 мм
Область ПАК (110)	406 ± 10 мм
Область соединения (130)	78,6 ± 1,0 мм
Верхний конец (X1)	86 ± 1,5 мм
Нижний конец (X2)	53,8 ± 1,0 мм
Округлый переходный участок (радиус R1)	25,3 ± 0,5 мм
Округлый переходный участок (радиус R2)	12,6 ± 0,5 мм

**[0073]** Электродные пластины, представленные в этом примере, позволяют избежать недостатки, рассмотренные в соответствии с предыдущими вариантами осуществления, поскольку в них отсутствуют резкие изменения геометрической формы или узкие поперечные сечения. Детали могут быть выполнены сетчатыми, без вырезов, которые  
5 могут привести к появлению дефектов и мест появления трещин.

**[0074]** Изобретение дает возможность производить металл с высокой энергетической эффективностью. Изобретение также обеспечивает меньшие потери тепла в катодной пластине (катодных пластинах).

**[0075]** Хотя иллюстративные и в данном случае предпочтительные варианты  
10 осуществления изобретения подробно описаны выше, следует понимать, что концепции изобретения могут быть осуществлены и использованы иным образом, и что прилагаемая формула изобретения предназначена для разъяснения таких вариантов, за исключением случаев, ограниченных предшествующим уровнем техники.

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Электродная пластина для электролитического производства металла с помощью электролитической ячейки, содержащей множество указанных электродных пластин, составляющих анодные и катодные пластины, расположенные вертикально чередующимися рядами указанных анодных и катодных пластин, электродная пластина имеющая:

область соединения, прилегающую к первому концу электродной пластины для соединения электродной пластины с электролитической ячейкой;

среднюю область, проходящую от области соединения без перекрытия соседних электродных пластин; и

область перекрытия анод-катод (ПАК), проходящую от средней области ко второму концу электродной пластины, противоположному первому концу, и выполненную с возможностью перекрытия соседней электродной пластины (электродных пластин);

причем электродная пластина имеет две противоположные поверхности, обращенные к поверхностям электродных пластин соседних рядов; и

причем отношение площади поверхности области ПАК к площади поверхности средней области превышает единицу для максимального увеличения плотности тока в области ПАК.

2. Электродная пластина по п. 1, отличающаяся тем, что отношение поверхности ПАК/средней области равно или больше 2.

3. Электродная пластина по п. 1 или 2, отличающаяся тем, что электродная пластина имеет прямоугольную форму, причем ширина электродной пластины не изменяется от области ПАК до средней области и области соединения.

4. Электродная пластина по п. 1 или 2, отличающаяся тем, что электродная пластина имеет форму П-образной стойки, в которой средняя область и область соединения образуют пару ножек по обе стороны с центральным проемом между ножками ниже области ПАК.

5. Электродная пластина по п. 1 или 2, отличающаяся тем, что электродная пластина имеет форму лопасти, в которой область ПАК имеет первую ширину, средняя область и область соединения имеют вторую ширину, причем вторая ширина меньше первой ширины.

6. Электродная пластина по п. 1 или 2, отличающаяся тем, что электродная пластина имеет трапециевидную форму, причем ширина электродной пластины постоянно уменьшается от второго конца к первому концу электродной пластины.

7. Электродная пластина по п. 1 или 2, отличающаяся тем, что область ПАК и средняя область электродной пластины имеют трапециевидную форму, причем ширина электродной пластины постоянно уменьшается от второго конца электродной пластины к стыку между средней областью и областью соединения, причем область соединения

имеет прямоугольную форму.

8. Электродная пластина по любому из пп. 1-7, отличающаяся тем, что окаймляющая кромка поверхностей имеет закругленные переходы между первым концом пластины и областью соединения, и/или окаймляющая кромка имеет закругленные переходы между вторым концом и областью ПАК.

9. Электродная пластина по любому из пп. 1-8, отличающаяся тем, что производимым металлом является алюминий, электродная пластина является смачиваемой жидким металлическим алюминием.

10. Электродная пластина по любому из пп. 1-9, отличающаяся тем, что электродная пластина представляет собой катодную пластину.

11. Электродная пластина для электролитического производства металла с помощью электролитической ячейки, содержащей множество указанных электродных пластин, составляющих анодные и катодные пластины, расположенные вертикально чередующимися рядами указанных анодных и катодных пластин, электродная пластина имеющая:

область соединения, прилегающую к первому концу электродной пластины для соединения электродной пластины с электролитической ячейкой;

среднюю область, проходящую от области соединения без перекрытия соседнего электрода (электродов); и

область ПАК, проходящую от средней области и предназначенную для перекрытия соседних электродов;

причем усредненное отношение площади поперечного сечения области ПАК к средней области и области соединения превышает единицу для максимального увеличения плотности тока в области ПАК при сохранении механической прочности области соединения для удержания электродной пластины.

12. Электродная пластина по п. 11, отличающаяся тем, что усредненное отношение площади поперечного сечения области ПАК/средней области равно или превышает 2.

13. Электродная пластина по п. 11 или 12, отличающаяся тем, что электродная пластина имеет форму П-образной стойки, в которой средняя область и область соединения образуют пару ножек по обе стороны с центральным проемом между ножками ниже области ПАК.

14. Электродная пластина по п. 11 или 12, отличающаяся тем, что электродная пластина имеет форму лопасти, в которой область ПАК имеет первую ширину, средняя область и область соединения имеют вторую ширину, причем вторая ширина меньше первой ширины.

15. Электродная пластина по п. 11 или 12, отличающаяся тем, что электродная пластина имеет трапециевидную форму, причем ширина электродной пластины постоянно уменьшается от второго конца к первому концу электродной пластины.

16. Электродная пластина по п. 11 или 12, отличающаяся тем, что область ПАК и средняя область электродной пластины имеют трапециевидную форму, причем ширина

электродной пластины постоянно уменьшается от второго конца электродной пластины к стыку между средней областью и областью соединения, при этом область соединения имеет прямоугольную форму.

17. Электродная пластина по любому из пп. 11-16, отличающаяся тем, что электродная пластина имеет две противоположные поверхности, обращенные к поверхностям электродных пластин соседних рядов, причем окаймляющая кромка поверхностей имеет закругленные переходы между первым концом пластины и областью соединения, и/или окаймляющая кромка имеет закругленные переходы между вторым концом и областью ПАК.

18. Электродная пластина по любому из пп. 11-17, отличающаяся тем, что металлом является алюминий, электродная пластина является смачиваемой жидким металлическим алюминием.

19. Электродная пластина по любому из пп. 11-18, отличающаяся тем, что электродная пластина представляет собой катодную пластину.

20. Электролитическая ячейка для электролитического производства металла, содержащая одну или более электродных пластин, как заявлено по любому из пп. 1-19.

21. Электролитическая ячейка по п. 20, отличающийся тем, что металлом является алюминий.

22. Использование электродной пластины, как заявлено в любом из пп. 1-19, или электролитической ячейки, как заявлено в п. 20 или 21, для изготовления электролитической ячейки, содержащей множество указанных электродных пластин.

23. Способ регулирования плотности тока множества электродных пластин, составляющих анодные и катодные пластины, расположенные вертикально чередующимися рядами в электролитической ячейке, электродная пластина имеющая:

область соединения, соединяющую электродную пластину с электролитической ячейкой;

среднюю область, проходящую от области соединения без перекрытия соседнего электрода (электродов); и

область ПАК, проходящую от средней области и выполненную с возможностью перекрытия соседнего электрода (электродов);

причем каждая электродная пластина имеет поверхность, обращенную к другой электродной пластине соседнего ряда;

способ, включающий этап:

максимального увеличения плотности тока в области ПАК путем изменения отношения площади поверхности области ПАК к площади поверхности средней области так, что отношение площади поверхности области ПАК/средней области превышает единицу.

24. Способ регулирования плотности тока множества электродных пластин, составляющих анодные и катодные пластины, расположенные вертикально чередующимися рядами в электролитической ячейке, электродная пластина имеющая:



область соединения, соединяющую электродную пластину с электролитической ячейкой;

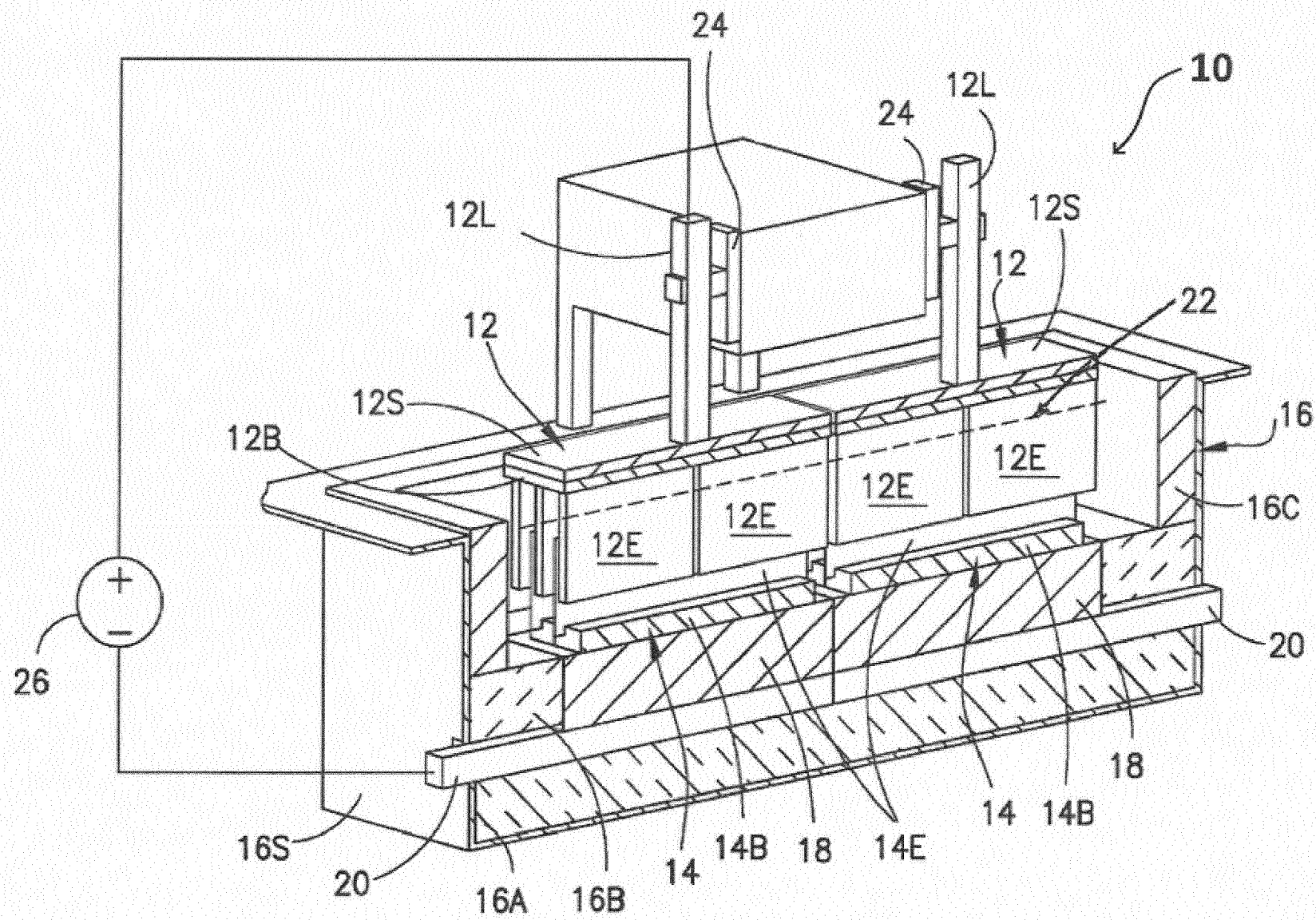
среднюю область, проходящую от области соединения без перекрытия соседнего электрода (электродов); и

область ПАК, проходящую от средней области и выполненную с возможностью перекрытия соседнего электрода (электродов);

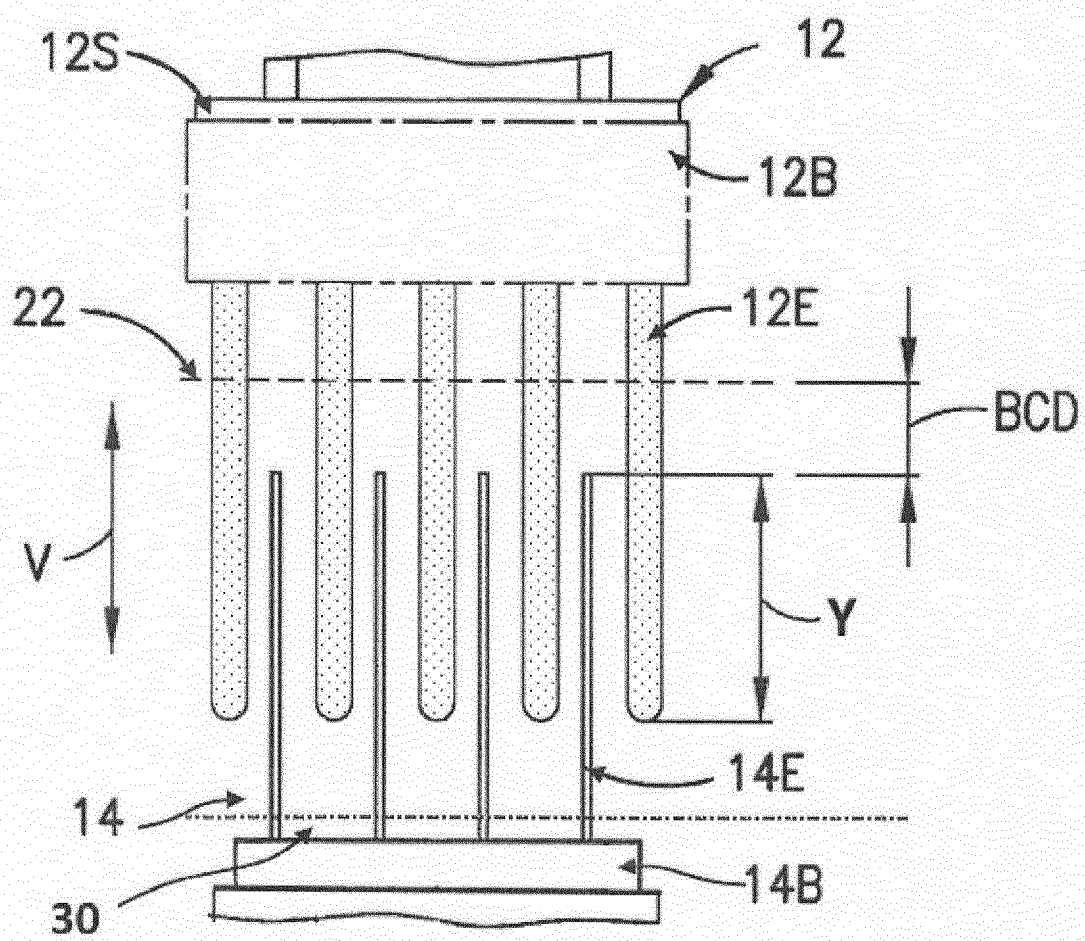
способ, включающий этап:

изготовление электродных пластин, в которых усредненное отношение площади поперечного сечения области ПАК к средней области и области соединения превышает единицу для максимального увеличения плотности тока в области ПАК при сохранении механической прочности области соединения для удержания электродной пластины.

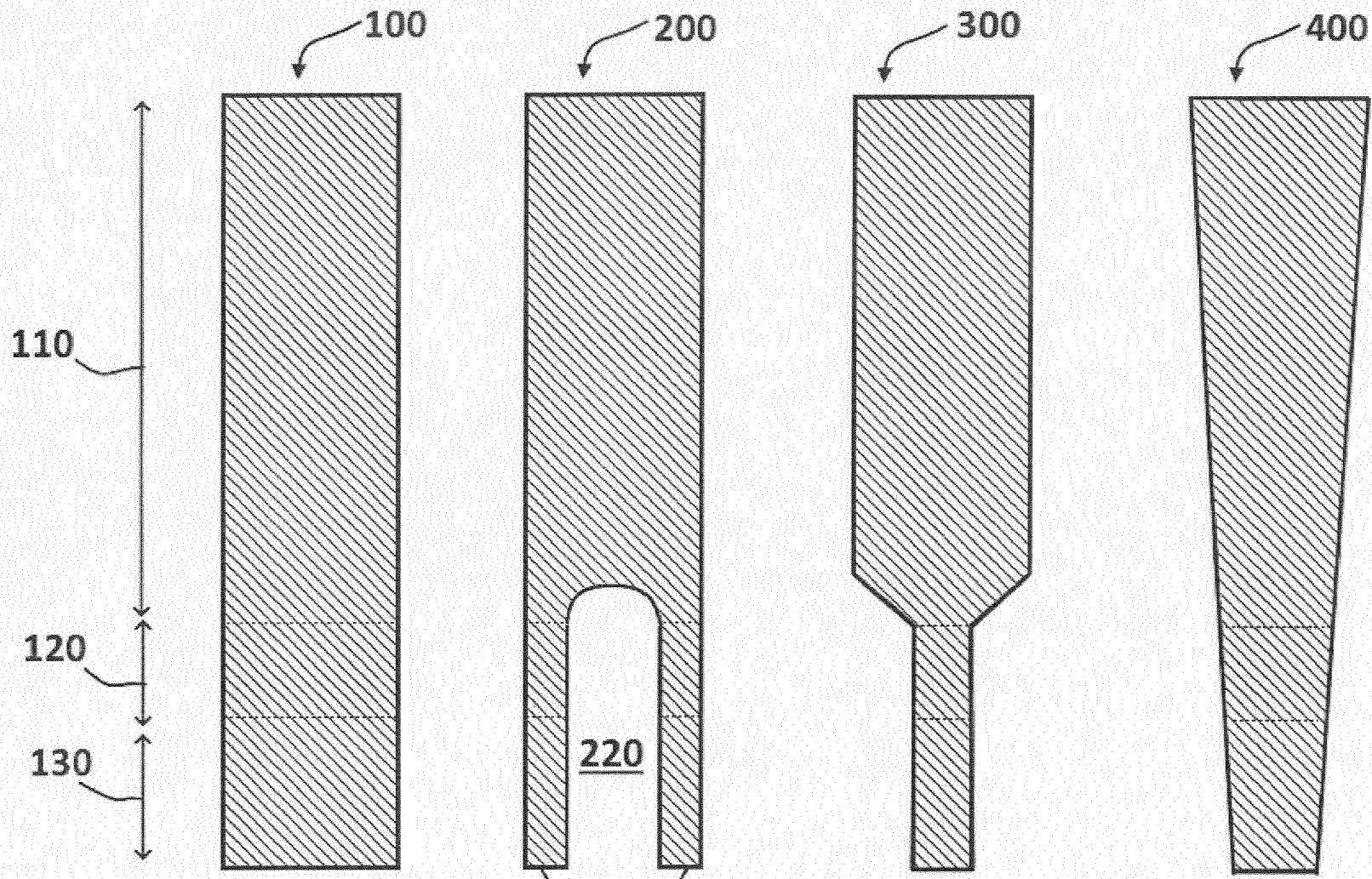
25. Способ максимального увеличения плотности тока электролитической ячейки, содержащей множество электродных пластин, образующих анодные и катодные пластины, расположенные вертикально чередующимися рядами в электролитической ячейке, способ, включающий этапы: замена каждой из имеющихся электродных пластин ячейки электродной пластиной, как описано в любом из пп. 1-19.



ФИГ. 1А (уровень техники)



ФИГ. 1В (уровень техники)

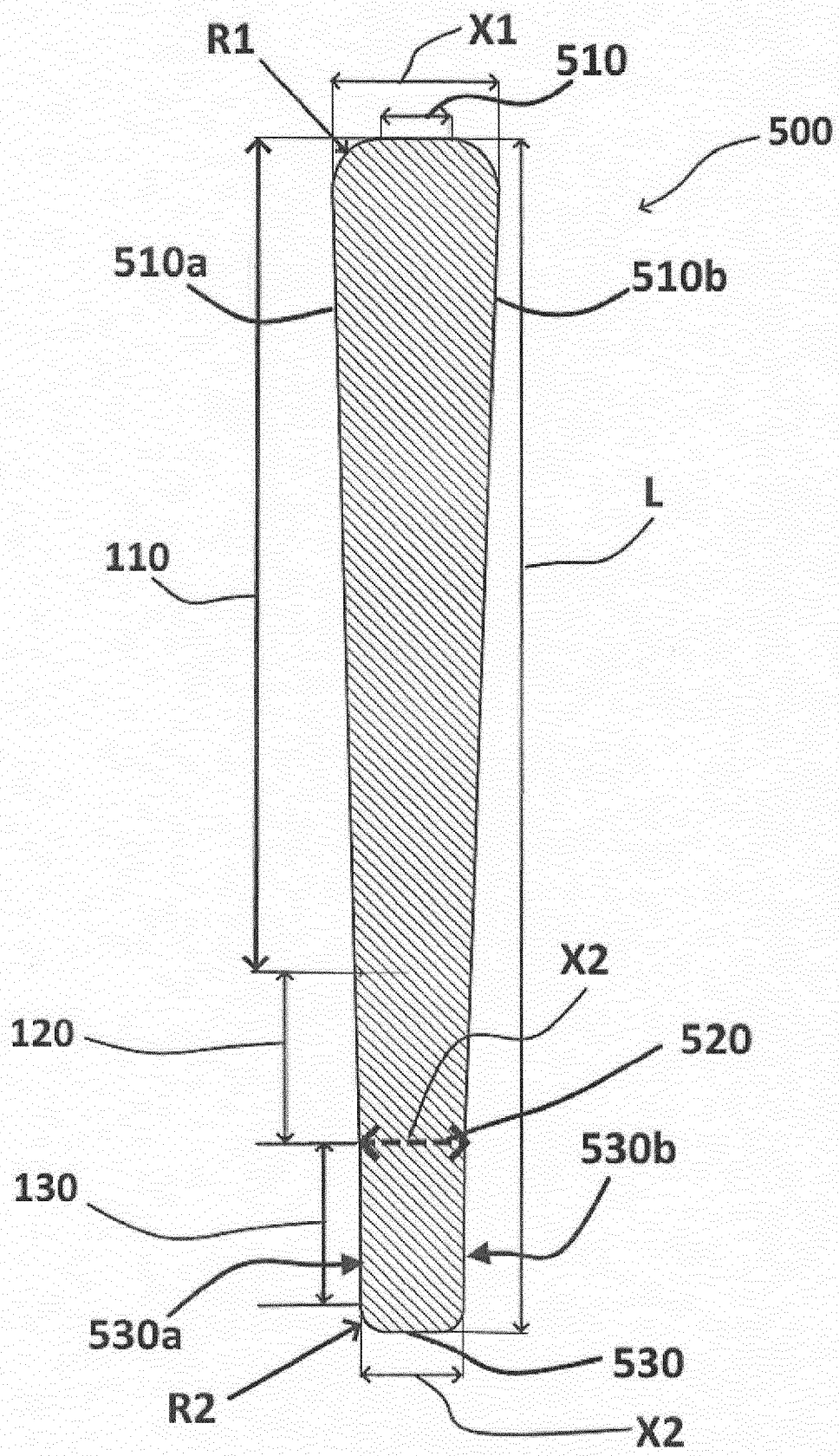


ФИГ. 2А

ФИГ. 2В

ФИГ. 2С

ФИГ. 2D



ФИГ. 3

1000



максимальное увеличения плотности тока в области ПАК путем изменения отношения площади поверхности области ПАК к площади поверхности средней области так, что отношение площади поверхности области ПАК/средней области превышает единицу (1100)

**ФИГ. 4**

2000



изготовление электродных пластин, в которых усредненное отношение площади поперечного сечения области ПАК к средней области и области соединения превышает единицу, чтобы максимально увеличить плотность тока в области ПАК при сохранении механической прочности области соединения для удержания электродной пластины (2100)

**ФИГ. 5**

3000



замена каждой из имеющихся электродных пластин ячейки электродной пластиной, как описано в настоящем документе (3100)

**ФИГ. 6**