

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(21) 202392509 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2024.02.05

(51) Int. Cl. C25C 3/12 (2006.01)

(22) Дата подачи заявки
2022.03.23

(54) ШТЫРЕВОЙ УЗЕЛ ЭЛЕКТРОДА И СПОСОБ ЕГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ

(31) 63/165,406

(72) Изобретатель:

(32) 2021.03.24

Принс Дэвид, Штайнер Уильям,
Микельсон Ларри, Йоки Стив (US)

(33) US

(86) PCT/CA2022/050435

(74) Представитель:

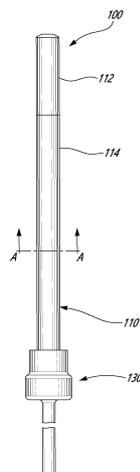
(87) WO 2022/198321 2022.09.29

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

(71) Заявитель:

ЭЛИСИС ЛИМИТЕД
ПАРТНЕРШИП (СА)

(57) В изобретении раскрываются штыревой узел для подачи тока к электроду, например к инертному аноду или аноду, выделяющему кислород, и способ его изготовления. Штыревой узел выполнен с возможностью вставки в корпус электрода для подачи электрического тока к корпусу. Штыревой узел содержит конструктивный опорный элемент, выполненный с возможностью механической поддержки корпуса электрода, и защитный проводящий элемент, выполненный с возможностью вставки конструктивного опорного элемента. Защитный проводящий элемент содержит по меньшей мере один металл или его сплав, способный проводить электрический ток, обеспечивая при этом защиту конструктивного опорного элемента от коррозии в течение заданного периода времени использования электрода. Штыревой узел обеспечивает подходящее электрическое соединение электродов, сочетает электрические и тепловые характеристики для оптимизации эффективности электролизера, конструкционную и коррозионную стойкость для продления срока службы штыревого узла и использует хорошо зарекомендовавшие себя способы соединения для обеспечения высокой надежности.



A1

202392509

202392509

A1

ШТЫРЕВОЙ УЗЕЛ ЭЛЕКТРОДА И СПОСОБ ЕГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Перекрестные ссылки на родственные заявки

5 [0001] Настоящая заявка на патент испрашивает приоритет предварительной патентной заявки США № 63/165,406, поданной в Ведомство по патентам и товарным знакам США 24 марта 2021г., содержание которой включено в настоящий документ посредством ссылки.

Область техники, к которой относится изобретение

10 [0002] Настоящее изобретение в целом относится к штыревому узлу электрода и способу его изготовления, более конкретно к штыревому узлу для анода, такого как инертный анод или анод, выделяющий кислород, предназначенный для использования в электролизере, например, при производстве металлов, таких как алюминий.

Предшествующий уровень техники

15 [0003] Металлический алюминий, также называемый алюминием, получают посредством электролиза глинозема, также известного как оксид алюминия (ИЮПАК/Международный союз теоретической и прикладной химии), в электролитической ванне с расплавленным электролитом при температуре около 750-1000°C, помещенным в несколько электролизеров. Электролизеры имеют ковш, выполненный из огнеупорного материала с возможностью размещения электролита, по
20 меньшей мере, одного катода и, по меньшей мере, одного анода. Ток электролиза, который циркулирует в электролите через аноды и катоды, вызывает реакции восстановления оксида алюминия, а также способен поддерживать в электролитической ванне заданную рабочую температуру за счет эффекта Джоуля. В электролизер регулярно подается глинозем, чтобы компенсировать расход глинозема, обусловленный
25 реакциями электролиза.

[0004] В традиционном процессе Холла-Эру аноды, изготовленные из углерода, расходуются в ходе электролитической реакции. Аноды необходимо заменять через 3-4 недели. Потребление углеродистого материала приводит к выбросу большого количества углекислого газа в атмосферу. Производители алюминия пытались найти
30 аноды, изготовленные из неплавящихся материалов, называемые "инертными анодами" или «выделяющим кислород анодом», чтобы избежать экологических проблем и затрат, связанных с изготовлением и использованием анодов из углеродистого материала. Замена традиционных углеродных анодов инертными анодами действительно приносит
35 значительные экологические преимущества, поскольку инертные аноды не вызывают выбросов CO₂ или CF₄. Было предложено несколько материалов, в частности керамические материалы (такие как SnO₂ и ферриты), металлические материалы и композиционные материалы, например материалы, известные как "металлокерамика", содержащие керамическую фазу и металлическую фазу, в частности никелевые ферриты, включающие металлическую фазу на основе меди.

40 [0005] Проблемы, возникающие при разработке инертных анодов, необходимых для

производства алюминия электролизом, заключаются не только в выборе и производстве материала, из которого изготовлен анод, но также и в электрическом соединении между каждым анодом и проводником (проводниками), которые будут использоваться для подачи электроэнергии в электролизер. Как правило, штыревой узел инертного анода
5 выступает из нижней части опоры (например, распределительной пластины), чтобы подвешивать анод в электролизере для восстановления алюминия и обеспечивать подачу электрического тока к аноду, не допуская чрезмерных потерь тепла в электролизере. Инертный анод электрически соединен с электролизером, например, через проводящий стержень, соединенный с инертным анодом, где катод направляет ток в
10 электролитическую ванну для получения цветного металла, при этом ток выходит из ячейки через анод. Инертные аноды электрически соединены с проводниками, типично изготовленные из металла, такого как никель, Инконель[®] или сталь. Однако создание электрического соединения с незначительным перепадом напряжения между металлическим проводником и инертным анодом, содержащим, например, керамику или
15 металлокерамику (металлокерамический материал), является сложной задачей. Соединение должно поддерживаться в надлежащем состоянии (незначительный перепад напряжения) при широком диапазоне температур и условий эксплуатации. Электрическое подключение с незначительным перепадом напряжения важно для сведения к минимуму напряжения в ячейке и энергопотребления процесса.

20 **[0006]** Основной проблемой в области инертных анодных комплектов и, в частности, проводящих стержней, является поиск материалов, способных сохраняться в среде с высоким содержанием как кислорода, так и фтора, при высоких температурах. Например, был испытан способ продувки газом для создания давления в продувочном пространстве, чтобы исключить воздействие агрессивных веществ на несущую
25 конструкцию и электропроводящие элементы. Однако для продувки каждого проводящего стержня или штыря обычно требуется сложная система трубопроводов и дорогостоящая инфраструктура для подачи газа. Например, для продувки штыря может потребоваться конструкция штыря, включающая ряд концентрических трубок по всей длине штыря для защиты несущего стержня конструкции от агрессивных веществ.
30 Кроме того, изготовление штырей такого типа сопряжено с большими затратами.

[0007] Аноды не обязательно должны быть непроницаемыми для газов и жидкостей. Аноды допускают миграцию как кислорода, так и фторидов через стенки анода и проникновение в отверстие анода, вызывая сильную коррозию электрических соединений и уменьшая анодный штырь и, следовательно, анод. Через несколько
35 месяцев штыри могут проржаветь насквозь, а верхние части анодов могут быть расколоты продуктами коррозии.

[0008] Для соединений инертных анодов было предложено несколько способов и устройств, таких как перечисленные в разделе "Известный уровень техники" патента США № 7 544 275, содержание которого включено в настоящее изобретение
40 посредством ссылки. Эти решения имеют ряд недостатков, таких как усложнение

изготовления анодов за счет введения ограничений на параметры обжига активной части анода или за счет обеспечения безупречного контроля процесса формирования промежуточного слоя и, таким образом, сопряжены со сложными дополнительными этапами. Другие известные из уровня техники решения требуют химического

5 восстановления контактной поверхности перед формированием соединений, что значительно усложняет изготовление анодов и сборку электрических соединений.

[0009] Патенты США № 4,456,517, № 4,450,061, № 4,609,249 и № 6,264,810 описывают механические соединения, применимые к анодам с центральной лузой. Такие соединения чувствительны к изменениям механических свойств составляющих их

10 элементов при использовании анодов и создают механические напряжения между анодом и металлическими деталями. Кроме того, такие решения чувствительны к агрессивной среде электролизеров. Чтобы преодолеть эту проблему, в некоторых из этих патентов также предлагается добавлять решетки и/или инертные наполнители. Такие дополнительные средства защиты усложняют изготовление соединений и повышают их

15 стоимость. Решение, предложенное в процитированном выше патенте США № 6,264,810, имеет дополнительный недостаток, заключающийся в том, что оно требует большого количества отдельных деталей, которые должны сохранять свои механические характеристики в течение длительного периода времени.

[0010] В предыдущей конструкции штыревого узла инертного анода применялась тщательная механическая обработка и обработка вручную, что позволяло тестировать

20 многочисленные варианты конструкции без необходимости модификации дорогостоящего инструмента.

[0011] Следовательно, существует потребность в новой конструкции и новом способе изготовления инертного штыревого узла и нового анода, которые устранят недостатки

25 предшествующего уровня техники, обеспечивая при этом производство в больших объемах с высокой надежностью и долговечностью.

Краткое изложение сущности изобретения

[0012] Недостатки предшествующего уровня техники, как правило, устраняются новым штыревым узлом электрода, электродом, содержащим штыревой узел, и способом его

30 изготовления, предпочтительно используемым для электролитического получения алюминия.

[0013] Впервые описан штыревой узел, выполненный с возможностью вставки в корпус электрода для подачи электрического тока к корпусу электрода. Штыревой узел содержит: конструктивный опорный элемент, выполненный с возможностью

35 механической поддержки корпуса электрода; и защитный проводящий элемент, выполненный с возможностью встраивания конструктивного опорного элемента, причем защитный проводящий элемент содержит, по меньшей мере, один металл или его сплав, способный проводить электрический ток, обеспечивая при этом защиту конструктивного опорного элемента от коррозии в течение заданного периода времени

40 использования электрода.

[0014] Согласно предпочтительному варианту осуществления, конструктивный опорный элемент дополнительно выполнен с возможностью механической поддержки огнеупорного компонента электрода.

5 [0015] Согласно предпочтительному варианту осуществления, конструктивный опорный элемент содержит титан, никель, железо или их сплав. Предпочтительно, конструктивный опорный элемент содержит нержавеющую сталь или сплав на основе никеля, такой как Инконель®.

10 [0016] Согласно предпочтительному варианту осуществления, защитный проводящий элемент представляет собой трубку, установленную вокруг конструктивного опорного элемента. Предпочтительно трубка представляет собой биметаллическую трубку, имеющую верхнюю секцию, содержащую первый металл, и нижнюю секцию, содержащую второй металл, причем как первый, так и второй металлы проводят вышеуказанный электрический ток. Еще более предпочтительно, чтобы первый металл верхней секции имел меньшую теплопроводность, чем второй металл нижней секции.

15 [0017] Согласно предпочтительному варианту осуществления, верхняя секция и нижняя секция трубки соединены вместе сваркой, предпочтительно инерционной сваркой или сваркой трением.

20 [0018] Согласно предпочтительному варианту осуществления, первый металл биметаллической трубки содержит титан, никель, железо или их сплав, предпочтительно стальной сплав, более предпочтительно сплав из нержавеющей стали или сплав на основе никеля, такой как сплав Инконель®, а второй металл биметаллической трубки содержит, по меньшей мере, один из металлов: кобальт, медь и/или их сплав.

25 [0019] Согласно предпочтительному варианту осуществления, конструктивный опорный элемент содержит штырь, выступающий из штыревой головки в продольном направлении, причем штырь выполнен с возможностью прохождения через центральный канал трубки. Предпочтительно, штыревая головка выполнена с возможностью радиального выхода за пределы внешней поверхности нижней секции трубки для соединения штыревой головки с нижним концом трубки, образованным вторым металлическим элементом. Предпочтительно штырь соединен с верхней секцией
30 биметаллической трубки посредством закрепления или сварки.

[0020] Согласно предпочтительному варианту осуществления, штыревой узел, описанный в настоящем изобретении, дополнительно содержит металлическую конструкцию, состоящую из токопроводящего металла или его сплава. Металлическая конструкция состоит из стержня, проходящего в продольном направлении от нижнего
35 конца стакана, причем стакан выполнен с возможностью обхватывания штыревой головки для образования заблокированного соединения между конструкцией и штырем, как только штырь вставляется в трубку. Стержень конструкции выполнен с возможностью вставки в канал корпуса электрода, когда штыревой узел функционально связан с корпусом электрода. Предпочтительно металлическая конструкция состоит, по
40 меньшей мере, из одного из кобальта, меди и/или их сплава.

[0021] Согласно предпочтительному варианту осуществления, стакан и стержень конструкции выполнены как одна деталь.

5 [0022] Согласно предпочтительному варианту осуществления, стакан имеет круглое поперечное сечение с диаметром стакана, превышающим диаметр штыревой головки, конструкция установлена на штыревую головку таким образом, что стакан выступает над нижней секцией биметаллической трубки таким образом, чтобы образовывать радиальный зазор вокруг штыревой головки. Предпочтительно конструкция стационарно соединена с биметаллической трубкой посредством формовки металла под давлением или ковки, такой как ротационное обжатие радиального зазора.

10 [0023] Согласно другому предпочтительному варианту осуществления стакан имеет поперечное сечение в форме эллипса, образующее большую ось и малую ось, причем большая ось больше диаметра штыревой головки, конструкцию устанавливают на штыревую головку таким образом, чтобы стакан выступал над нижней секцией биметаллической трубки с образованием двух противоположных зазоров между
15 штыревой головкой и стаканом вдоль большой оси. Предпочтительно конструкция стационарно соединена с биметаллической трубкой посредством формовки металла под давлением или ковки, такой как ротационное обжатие двух противоположных зазоров.

[0024] Согласно предпочтительному варианту осуществления, стакан, после стационарного крепления вокруг штыревой головки, образует выступ, при этом корпус
20 электрода опирается на выступ штыревого узла, когда штыревой узел функционально соединен с электродом.

[0025] Согласно предпочтительному варианту осуществления, защитный проводящий элемент выполнен с возможностью образования на своей внешней поверхности коррозионного продукта, который может быть механически ограничен без разрыва или
25 трещин. Предпочтительно, ограничивающий материал включает одно из следующих: трубку из спеченного оксида алюминия, порошок оксида алюминия, огнеупор, зернистую медь, инертный анодный материал или трубку из спеченного оксида олова.

[0026] Согласно предпочтительному варианту осуществления, электродом является анод, более предпочтительно, анод представляет собой инертный анод или анод,
30 выделяющий кислород.

[0027] В настоящем изобретении также описан комплект электродов для получения алюминия в электролизере. Комплект электродов содержит: множество электродов, каждый из электродов имеет корпус электрода, соединенный со штыревым узлом, причем штыревой узел соответствует определению и описанию в настоящем документе;
35 и распределительную пластину, выполненную с возможностью функционального подключения каждого из множества электродов через соответствующий штыревой узел для обеспечения электрической цепи с электродами.

[0028] Согласно предпочтительному варианту осуществления, множество электродов представляют собой аноды, предпочтительно инертные или выделяющие кислород
40 аноды. Предпочтительно, множество анодов представляют собой вертикальные аноды,

проходящие вниз от распределительной пластины.

[0029] Согласно предпочтительному варианту осуществления, комплект электродов дополнительно содержит огнеупорный цемент, с огнеупорной оболочкой вокруг штыревого узла каждого электрода, тем самым удерживая продукты коррозии защитного проводящего элемента.

[0030] Согласно предпочтительному варианту осуществления, комплект электродов дополнительно содержит керамическую трубку, охватывающую, по меньшей мере, частично защитный проводящий элемент штыревого узла для удержания коррозионных продуктов защитного проводящего элемента внутри корпуса анода.

[0031] Также дополнительно описан способ изготовления электрода, содержащего корпус электрода и штыревой узел, выполненный с возможностью вставки в корпус электрода для подачи электрического тока к корпусу электрода. Способ включает:

а) обеспечение конструктивного опорного элемента, выполненного с возможностью механической поддержки корпуса электрода;

б) вставку конструктивного опорного элемента в защитный проводящий элемент, причем защитный проводящий элемент содержит, по меньшей мере, один металл или его сплав, способный проводить электрический ток, обеспечивая при этом защиту конструктивного опорного элемента от коррозии в течение заданного периода времени использования электрода; и

с) электрическое соединение штыревого узла и корпуса электрода для формирования электрода.

[0032] Согласно предпочтительному варианту осуществления, комплект электродов дополнительно содержит керамическую трубку, охватывающую, по меньшей мере, частично защитный проводящий элемент штыревого узла для удержания коррозионных продуктов защитного проводящего элемента внутри корпуса анода.

[0033] Согласно предпочтительному варианту осуществления, конструктивный опорный элемент содержит титан, никель, железо или их сплав. Предпочтительно, конструктивный опорный элемент содержит нержавеющую сталь или сплав на основе никеля, такой как Инконель®.

[0034] Согласно предпочтительному варианту осуществления, защитный проводящий элемент представляет собой трубку, этап б) способа включает: установку трубки вокруг конструктивного опорного элемента.

[0035] Согласно предпочтительному варианту осуществления, трубка представляет собой биметаллическую трубку, имеющую верхнюю секцию, содержащую первый металл, и нижнюю секцию, содержащую второй металл, причем как первый, так и второй металлы проводят вышеуказанный электрический ток. Предпочтительно, верхняя секция имеет меньшую теплопроводность, чем нижняя секция.

[0036] Согласно предпочтительному варианту осуществления, перед этапом б) способ дополнительно включает этап соединения верхней секции и нижней секции вместе сваркой, предпочтительно инерционной сваркой или сваркой трением.

[0037] Согласно предпочтительному варианту осуществления, первый металл биметаллической трубки содержит титан, никель, железо или их сплав, предпочтительно стальной сплав, более предпочтительно сплав из нержавеющей стали или сплав на основе никеля, такой как сплав Инконель[®], а второй металл биметаллической трубки

5 содержит, по меньшей мере, один из кобальта, меди и/или их сплав.

[0038] Согласно предпочтительному варианту осуществления, на этапе а) способа конструктивный опорный элемент содержит штырь, проходящий в продольном направлении от штыревой головки, этап б) способа далее включает: проталкивание штыря через центральный канал трубки. Предпочтительно, штыревая головка выполнена

10 с возможностью радиального выхода за пределы внешней поверхности нижней секции трубки, этап б) способа далее включает: соединение штыревой головки с нижним концом трубки, образованным вторым металлом.

[0039] Согласно предпочтительному варианту осуществления, этап б) способа дополнительно включает: соединение штыря с верхней секцией биметаллической трубки

15 путем закрепления или сварки.

[0040] Согласно предпочтительному варианту осуществления, штыревой узел дополнительно имеет металлическую конструкцию, состоящую из токопроводящего металла или его сплава, металлическая конструкция состоит из стержня, проходящего в продольном направлении от нижнего конца стакана, этап б) способа далее

20 дополнительно включает: обхватывание стаканом штыревой головки для образования заблокированного соединения между конструкцией и штырем после вставки штыря в трубку; и этап с) способа далее включает: вставку стержня конструкции в канал корпуса электрода для оперативного соединения штыревого узла с корпусом электрода. Предпочтительно металлическая конструкция состоит из, по меньшей мере, одного из

25 кобальта, меди и/или их сплава.

[0041] Согласно предпочтительному варианту осуществления, стакан и стержень конструкции выполнены как одна деталь.

[0042] Согласно предпочтительному варианту осуществления стакан имеет круглое поперечное сечение с диаметром стакана, превышающим диаметр штыревой головки, этап б) способа включает: сборку конструкции на штыревой головке так, что стакан

30 выступает над нижней секцией биметаллической трубки с образованием радиального зазора по всему периметру штыревой головки.

[0043] Согласно предпочтительному варианту осуществления, способ дополнительно включает постоянное соединение конструкции с биметаллической трубкой посредством

35 формовки металла под давлением иликовки, такой как ротационное обжатие радиального зазора.

[0044] Согласно предпочтительному варианту осуществления, стакан имеет поперечное сечение в форме эллипса, образующее большую ось и малую ось, причем большая ось больше диаметра штыревой головки, этап б) способа включает: сборку конструкции на

40 штыревой головке так, что стакан выступает над нижнюю секцию биметаллической

трубки с образованием двух противоположных зазоров между штыревой головкой и стаканом вдоль большой оси.

5 [0045] Согласно предпочтительному варианту осуществления, способ дополнительно включает постоянное соединение конструкции с биметаллической трубкой посредством формовки металла под давлением или ковки, такой как ротационное обжатие двух противоположных зазоров.

10 [0046] Согласно предпочтительному варианту осуществления, этап постоянного соединения конструкции вокруг биметаллической трубки включает формирование выступа стакана, сформованного или выкованного вокруг штыревой головки, в результате чего при использовании корпус электрода опирается на выступ штыревого узла, когда штыревой узел функционально соединен с электродом.

[0047] Согласно предпочтительному варианту осуществления, этап с) электрического соединения штыревого узла с корпусом электрода включает:

- 15 – установку и выравнивание крепления штыревого узла в канале корпуса электрода;
- заливку первой порции зернистой меди в канал корпуса электрода;
- при необходимости, уплотнение первой порции зернистой меди;
- заливку огнеупорного материала в канал поверх первой порции зернистой меди; и
- 20 – обеспечение отверждения огнеупорного материала.

[0048] Согласно предпочтительному варианту осуществления, способ дополнительно включает заливку второй порции зернистой меди поверх первой порции, при этом вторая порция зернистой меди содержит частицы меди меньшего размера, чем частицы меди первой порции зернистой меди. Предпочтительно, уплотнение зернистой меди включает

25 вибрацию корпуса электрода.

[0049] Согласно предпочтительному варианту осуществления нижняя граница огнеупорного материала примыкает к выступу.

[0050] Согласно предпочтительному варианту осуществления, защитный проводящий элемент выполнен с возможностью образования на своей внешней поверхности

30 коррозионного продукта, который может быть механически ограничен без разрыва или трещин. Предпочтительно, ограничивающий материал включает одно из следующих: трубку из спеченного оксида алюминия, порошок оксида алюминия, огнеупор, зернистую медь, инертный анодный материал или трубку из спеченного оксида олова.

[0051] Согласно предпочтительному варианту осуществления, электрод, изготовленный

35 описанным в настоящем изобретении способом, представляет собой анод, более предпочтительно анод является инертным анодом или анодом, выделяющим кислород.

[0052] Таким образом, в настоящем изобретении также описано применение электролизера, содержащего множество электродов, предпочтительно анодов, более предпочтительно инертных или выделяющих кислород анодов, изготовленных

40 способом, описанным в настоящем изобретении, для получения металлов, таких как

алюминий.

[0053] Настоящее изобретение обеспечивает защиту конструктивного опорного штыря электродов, таких как аноды, от разрушения в электролитической ванне с расплавленным электролитом на основе криолита, а также от HF, O₂ и других газов, образующихся в электролизере.

[0054] Настоящее изобретение также совершенствует производство металла, такое как производство алюминия, например, за счет ограничения потенциального загрязнения ванны и металла материалом штыря и/или электрода.

[0055] Настоящее изобретение также предлагает более простой способ изготовления штыревого узла и способ соединения корпуса анода с анодным узлом для получения анода, защищенного от разрушения при работе электролизера.

[0056] Настоящее изобретение сдерживает быстро развивающееся окисление или быстро развивающуюся коррозию штыря, так что срок службы анода становится вполне прогнозируемым.

[0057] Другие и дополнительные аспекты, а также преимущества настоящего изобретения будут лучше поняты при ознакомлении с иллюстративными вариантами осуществления, которые представлены ниже, или указаны в прилагаемой формуле изобретения, а специалистам в данной области техники станут понятны различные преимущества, не упомянутые в настоящем изобретении, при применении изобретения на практике.

Краткое описание чертежей

[0058] Вышеуказанный и другие аспекты, признаки и преимущества изобретения станут более очевидными из следующего описания, при этом делается ссылка на прилагаемые чертежи, на которых

[0059] Фиг. 1 представляет вид сбоку штыревого узла в соответствии с предпочтительным вариантом осуществления настоящего изобретения.

[0060] На Фиг. 2 представлено поперечное сечение штыревого узла, изображенного на Фиг. 1, вдоль линии А-А.

[0061] Фиг. 3А и 3В представляют схематическое изображение поперечного сечения соединительной секции штыревого узла, показанного на Фиг. 1, где Фиг. 3А - вид в разрезе, а на Фиг. 3В - вид в перспективе, согласно предпочтительному варианту осуществления.

[0062] На рисунках 4А-4D показаны различные этапы (А)-(D) соединения штыревого узла с корпусом электрода в соответствии с предпочтительными вариантами осуществления.

[0063] Фиг. 5 представляет частичный вид поперечного сечения электрода, содержащего корпус электрода и штыревой узел в соответствии с предпочтительным вариантом осуществления; и

[0064] Фиг. 6 представляет разрез двух различных штыревых узлов внутри комплекта инертного анода в соответствии с предпочтительным вариантом осуществления

настоящего изобретения.

Подробное описание предпочтительных вариантов осуществления изобретения

[0065] Далее в настоящем документе описывается новый штыревой узел электрода. Хотя изобретение описано в рамках конкретных иллюстративных вариантов осуществления, следует понимать, что представленные варианты осуществления приведены только в качестве примера и что объем изобретения этим не ограничивается.

[0066] Используемая здесь терминология соответствует изложенным ниже определениям.

[0067] В контексте настоящего документа % или вес. % означает весовой процент, если не указано иное. При использовании в настоящем документе, % относится к весовому проценту по сравнению с общим весовым процентом рассматриваемой фазы или композиции.

[0068] Выражение "приблизительно" означает, что значение весового процента (вес.%), времени, длины, объема или температуры может изменяться в пределах определенного диапазона в зависимости от допустимого предела погрешности способа или устройства, используемого для оценки такого весового процента, времени, длины, объема или температуры. Обычно допустимый предел погрешности составляет 10%.

[0069] Описание, которое следует далее, и изложенные в нем варианты осуществления представлены в качестве разъяснения примера конкретных принципов и аспектов вариантов осуществления настоящего изобретения. Эти примеры приведены в целях разъяснения принципов изобретения, но не ограничивают их. В последующем описании, и на чертежах аналогичные детали и/или этапы обозначены одинаковыми соответствующими ссылочными номерами или знаками.

[0070] Как уже говорилось выше, основной проблемой в области инертных анодных комплектов и, в частности, проводящих стержней, является поиск материала, способного сохраняться как в среде с высоким содержанием как кислорода, так и фтора.

[0071] В настоящем изобретении описан, во-первых, штыревой узел для электрода, такой как, но не ограниченный им, анод, выполненный с возможностью вставки в корпус электрода для подачи электрического тока к корпусу электрода. Штыревой узел **100**, как показано на Фиг. 1 и 2, содержит конструктивный опорный элемент **120**, выполненный с возможностью механической поддержки корпуса электрода; и защитный проводящий элемент **110**, выполненный с возможностью вставки конструктивного опорного элемента. Защитный проводящий элемент содержит, по меньшей мере, один металл или его сплав, способный проводить электрический ток, обеспечивая при этом защиту конструктивного опорного элемента от коррозии в течение заданного периода времени использования электрода.

[0072] Согласно предпочтительному варианту осуществления, такому, который показан на Фиг. 1-3, штыревой узел **100** может иметь конструктивный опорный элемент **120**, вставленный в трубку **110**, состоящую, по меньшей мере, из одного металла или его сплава, проводящего электрический ток.

[0073] Как показано на Фиг. 2, 3А или 3В, трубка **110** образует цилиндрическую стенку **111**, охватывающую конструктивный опорный элемент **120**, для проведения электрического тока от корпуса анода. Цилиндрическая стенка **111** трубки **110** имеет размер, позволяющий вмещать конструктивный опорный элемент **120** и, таким образом, защищать конструктивный опорный элемент **120** от коррозии в течение заданного периода времени использования анода.

[0074] Согласно предпочтительному варианту осуществления, трубка **110** может представлять собой биметаллическую трубку (Фиг. 1 или 3) с продольным центральным каналом **113** и иметь верхнюю секцию **112**, содержащую первый металл, и нижнюю секцию, содержащую второй металл **114**, причем как первый, так и второй металлы проводят электрический ток. Предпочтительно, металл верхней секции имеет меньшую теплопроводность, чем металл нижней секции. Например, верхняя секция **112** может содержать сталь, а нижняя секция **114** может содержать кобальт и/или медь, причем две секции предпочтительно соединены друг с другом сваркой, такой как инерционная сварка или сварка трением.

[0075] Следует понимать, что все металлы, упомянутые в настоящем изобретении, относятся к металлу *в чистом виде*, а также к любому сплаву указанного металла или любому композиционному материалу, содержащему указанный металл или сплав, при условии, что металлы, сплавы и композиционные материалы проводят электрический ток. Настоящее изобретение описывает использование титана, никеля, железа и/или меди или их сплавов. Предпочтительно, сплавы на основе железа могут содержать сталь или нержавеющую сталь, а сплавы на основе никеля могут содержать сплав Inconel®.

[0076] Как указано выше, согласно предпочтительному варианту осуществления, инерционная сварка может быть использована для изготовления биметаллической трубки. Инерционная сварка — это экономичный и надежный процесс соединения металлов, при котором вращающаяся заготовка, прижимаясь к неподвижной детали, вызывает нагрев от трения на границе раздела. К преимуществам этого способа относятся короткий цикл обработки, минимальная подготовка поверхности и отсутствие пористости. Кроме того, поскольку тепло быстро выделяется непосредственно на границе раздела, инерционная сварка является энергоэффективным и согласованным процессом, не требующим предварительного нагрева. Еще одним преимуществом инерционной сварки является то, что можно соединять разнородные металлы, даже металлы с большой разницей температур плавления. В самых разных отраслях промышленности медь и сталь можно соединять инерционной сваркой. Кроме того, инерционная сварка с использованием конкретных деталей штыревого узла прошла весьма успешно, обеспечила прочное соединение по всей поверхности раздела.

[0077] Согласно предпочтительному варианту осуществления, показанному на Фиг. 3, конструктивный опорный элемент **120** может содержать гвоздеобразный штырь **120**, имеющий штыревую головку **122** и штырь или стержень **124**, выступающий из штыревой головки. Штыревая головка **122** выполнена с возможностью соединения с нижним

концом **116** нижней секции **114** трубки **110**, при этом стержень выполнен с возможностью прохождения через канал **113** биметаллической трубки **110**. Стержень **124** также соединяется на верхнем конце **118** верхней секции **112** трубки путем, например, закрепления или сварки. Согласно предпочтительному варианту осуществления, показанному на Фиг. 3А или 3В, штыревая головка **122** может выступать радиально за пределы внешней поверхности стенки **111** трубки, примыкая таким образом к стенке трубки. Могут рассматриваться и другие конфигурации соединения и фиксации конструктивного опорного элемента с трубкой. Штырь **120** может изготавливаться с использованием процесса формования проволоки, подобного тому, который обычно используется для изготовления гвоздей и других крепежных элементов.

[0078] Штыревой узел **100**, как показано на чертежах, также содержит конструкцию **130**, предпочтительно состоящую из того же металла или его сплава, что и нижняя секция **114** биметаллической трубки **110**, такого, например, как кобальт и/или медь. Конструкция **130** включает стакан **132** и длинный штифт или стержень **134**, выступающий из нижнего конца **136** стакана **132**.

[0079] Согласно предпочтительному варианту осуществления, стакан **132** и стержень **134** предпочтительно изготавливаются как одна деталь с использованием процесса, называемого комбинированной штамповкой ударным выдавливанием, при котором металлический цилиндр сжимается в вертикальном гидравлическом прессе между нижним штампом, имеющим ступенчатый штырь, формирующим внутреннюю и верхнюю части стакана. Всего за один ход цилиндр выдавливается вперед в нижний штамп и выдавливается назад в верхний штамп. Это очень быстрый и материалосберегающий процесс, который также исключает затраты на повторное соединение и связанные с этим неисправности.

[0080] Согласно предпочтительному варианту осуществления, конструкция **130** может быть установлена на штыревой головке **122** таким образом, что стакан выступает над нижней секцией трубки **114** с образованием радиального зазора (не показан). Конструкция **130** постоянно соединена с биметаллической трубкой **110**, например, посредством ротационного обжата - процесса ковки, при котором наборы противоположных штампов с кулачковым приводом многократно ударяют по окружности стакана, чтобы закрыть радиальный зазор и прижать стенку по периметру к биметаллической трубке. Обжатый стакан **132** также плотно обхватывает штыревую головку **122**, образуя заблокированное соединение со стенками стакана. В ходе этого процесса рядом с внутренней штыревой головкой **122** может быть сформирован выступ **140** штыревого узла. Выступ **140** может быть полезен для поддержки корпуса анода.

[0081] Ротационное обжатие выполняется очень быстро, энергоэффективно, материалосберегающе и легко автоматизируется, что делает его весьма экономичным при крупносерийном производстве. Кроме того, испытания опытных образцов на обжатие показывают, что ротационная ковочная машина с подвижным шпинделем также может быть использована для получения газонепроницаемого соединения, которое,

основываясь на предшествующих испытаниях, приведет к образованию диффузионного слоя, желательного для поддержания электрической целостности цепи, коррозионной стойкости и структурной целостности штыревого узла.

5 **[0082]** Согласно предпочтительному варианту осуществления, сечение стакана **132** конструкции **130** может быть круглым, образуя кольцевой зазор вокруг биметаллической трубки **110** и штыревой головки **122**. Тогда ротационное обжатиe применяется по всей окружности стакана **132**, чтобы закрыть зазор. В другом варианте осуществления, сечение стакана конструкции может иметь форму эллипса. Тогда штыревая головка может быть выполнена в форме, соответствующей форме стакана, чтобы вставляться
10 внутрь стакана. Тогда ротационное обжатиe применяется только к противоположным участкам, образующим зазоры, чтобы закрыть зазоры. Хотя в настоящем изобретении описан стакан с круглым или эллиптическим поперечным сечением, следует понимать, что можно использовать стакан с другой геометрической формой (например, квадратной, четырехугольной, прямоугольной и т.д.), без отступления от существа и объема
15 настоящего изобретения.

Способ изготовления:

[0083] Способ изготовления электрода, такого как анод **200**, показан на Фиг. 4A-4D.

[0084] Согласно предпочтительному варианту осуществления, способ может включать следующие этапы:

- 20 a. вставку штыревого узла **100** в канал **220** корпуса анода **210** и совмещение штыревого узла и корпуса анода в креплениях F1-F2 (Фиг. 4A);
- b. заливку первой порции зернистой меди **230** в канал **220** корпуса электрода **210** (Фиг. 4B);
- 25 c. в некоторых случаях, заливку второй порции зернистой меди **240** в анод поверх черновой меди **230** (Фиг. 4C);
- d. в некоторых случаях, уплотнение каждой порции после этапа b. или этапа c, например, посредством вибрации анода;
- e. заливку огнеупорного керамического или металлического материала **250** в анод поверх чистой меди **240** (Фиг. 4D); и
- 30 f. обеспечение отверждения указанного огнеупорного керамического или металлического материала.

[0085] Первая и вторая порции зернистой меди могут содержать крупные или мелкие частицы меди. Предпочтительно, первая порция меди может содержать крупные частицы меди, тогда как вторая порция меди может содержать мелкие частицы меди.

35 **[0086]** Полученный электрод, такой как анод **200**, показанный на Фиг. 5, может содержать:

- корпус **210** анода;
- канал **220** корпуса **210** анода;
- штыревой узел **100**, как описано в настоящем изобретении, вставленный и
40 совмещенный в канале **220** корпуса анода;

- первую порцию частиц меди **230**, залитую в канал анода;
 - вторую порцию частиц меди **240**, залитую поверх первой порции частиц меди и предпочтительно примерно до выступа **140**, сформированному обжатым стаканом **132**; и
- 5 - отвержденный огнеупорный материал **250** над второй порцией частиц меди **240**, предпочтительно примыкающий к выступу **140**.

[0087] Как показано на Фиг. 5, длинный медный стержень **134**, соединенный со стаканом **132**, образующим выступ **140**, проходит в паз или канал анода **220**. Опорный штырь **120**, вставленный в биметаллическую проводящую трубку **110**, содержит стержень **124**, проходящий через трубку **110**, головку **122** внутри выступа, выходящую за периметр трубки для осевой поддержки выступа **140**.

[0088] Верхняя секция **112** биметаллической трубки **110** образует металлический цилиндрический переходник, предназначенный для приварки, например, к электрической распределительной пластине **410** анодного узла **400**, показанного на Фиг. 6, и ограничения теплотерь. Переходник обеспечивает как электрическое, так и конструктивное соединение между штыревым узлом и электрической распределительной пластиной.

[0089] На Фиг. 6 представлены два различных варианта осуществления штыревого узла, вставленного и соединенного с корпусом анода. Штыревой узел справа на Фиг. 6 дополнительно содержит другую защитную трубку **300**, предназначенную для охватывания, удержания и защиты штыревого узла **100**. Другая защитная трубка **300** может содержать оксид алюминия или медь, предпочтительно медь, заключенную в огнеупор.

[0090] Коррозия меди не усиливается под воздействием жидкой ванны или паров ванны. Основным фактором коррозии меди является окисление. Поэтому концентрические трубки, ранее используемые для способа продувки потоком газа, можно убрать, что позволяет увеличить толщину защитной/удерживающей трубки **110**.

[0091] Чтобы сохранить адгезию оксида к основному металлу, медь удерживают внутри анода, вплотную к стенке анода, заполняя анод зернистой медью вокруг стержня и заливая цемент вокруг стержня через огнеупорную оболочку или окружая медный стержень керамической трубкой. Когда медь находится в замкнутом пространстве и может свободно окисляться, оксидный продукт заполняет пустоты в замкнутом пространстве, уплотняется, и окисление значительно замедляется без приложения большой нагрузки к удерживающему материалу, в данном случае керамическому аноду, глиноземной трубке, огнеупорному бетону или другому материалу. Это происходит из-за окисления меди, которое в значительной степени обусловлено диффузией ионов меди по границам зерен наружу через оксидный слой. Медь при сжатии при высокой температуре обладает способностью передавать конструктивную нагрузку на анод и огнеупорную оболочку на внутренний конструктивный элемент, таким образом, штырь

может выступать как в качестве опоры конструкции, так и в качестве электрического проводника.

Коррозионные испытания в производственных условиях по предпочтительному варианту осуществления и предшествующему уровню техники

5 [0092] Были изготовлены анодные штыревые узлы и установлены в аноды, которые затем ввели в эксплуатацию. То есть штыревые узлы поддерживали вес и проводили электрический ток к анодам, подвергаемым электролизу. Все условия были стандартными, которые обычно применяются в электролизерах заявителя для алюминия. Вре-
10 мя тестирования варьировалось от 0,06 года до >1 года. Оба монолитных штыря, изготовленные из одного материала, испытывались согласно предпочтительному варианту осуществления, описанному в настоящем изобретении.

[0093] Для монолитной конструкции были протестированы коррозионные технические характеристики широкого спектра конструкционных сплавов на основе железа, никеля и кобальта, включая все нержавеющие стали серии 300, многие сплавы Инконель® и
15 несколько более экзотических (т.е. дорогих) сплавов с предположительно превосходными техническими характеристиками в присутствии кислорода или фтора. Результаты испытаний монолитных штырей, изготовленных из одного материала, приведены в Таблице 1 для сплавов Инконель® 600, поскольку они характерны для всех испытанных сплавов на основе железа и никеля. В результате обнаружено, что скорость
20 коррозии этих монолитных штырей слишком высока, чтобы их можно было использовать в качестве инертного анода с длительным сроком службы.

[0094] Результаты коррозии для предпочтительного варианта рассматриваемой заявки также приведены в Таблице 1. В этом случае необходимо указать скорость коррозии как
25 наружного элемента (медной трубки), так и внутреннего сердечника (в данном случае Инконель® 600). Средняя скорость коррозии наружной медной трубки в месте максимальной коррозии в 20 раз ниже, чем в сравнительных известных технологиях. Важно также отметить, что стандартное отклонение скорости коррозии также было снижено в 10 раз. Это важный вывод, поскольку меньшее стандартное отклонение
30 означает, что срок службы становится более предсказуемым. Скорость коррозии защищенного конструкционного элемента была ниже обнаруживаемых пределов даже после более чем 1 года эксплуатации.

Таблица 1. Сравнение скорости коррозии анодных штырей в местах максимальной коррозии:

Конструкция штыря	Материал	Средняя скорость радиальных потерь металла (дюйм/год)	Стандартное отклонение скорости радиальных потерь металла (дюйм/год)
Монолитный металл (Сравнительная технология)	Inconel 600	1,01	0,27

Многокомпонентный Штыревой узел (настоящее изобретение)	Защитный проводящий элемент: медь (Cu)	0,05	0,03
	Конструктивный опорный элемент: Инконель™ 600 (внутри медной защиты)	<0,005	н/п

[0095] Результаты, приведенные выше в Таблице 1, предполагают, что степень коррозии возрастает линейно со временем. Это обоснованная интерпретация данных о коррозии монолитного металла, особенно при испытаниях на коррозию продолжительностью примерно свыше 0,1 года. Однако коррозия медных элементов предпочтительного варианта осуществления в этой среде, по-видимому, более точно соответствует так называемой параболической скорости коррозии. То есть степень коррозии меди примерно пропорциональна периоду времени в квадрате. Проще говоря, скорость коррозии меди со временем замедляется. Это убедительно указывает на то, что слой оксида меди остается компактным и адгезивным, вероятно, в результате его удержания прочным материалом, таким как огнеупор. Таким образом, считается, что фактические характеристики меди, обеспечивающие защиту от коррозии, выше, чем приведенные в таблице 1, особенно в течение времени, более 1 года.

[0096] Параболическая скорость коррозии меди должна сохраняться до тех пор, пока коррозионные продукты адгезированы к основному металлу. Для сохранения такой адгезии медь удерживают. Медь может быть удержана относительно слабым материалом, таким как зернистая медь, если такая зернистая медь дополнительно удерживается более прочным материалом, таким как керамический анод. В другом варианте осуществления медь может быть удержана более прочным элементом, таким как керамическая трубка, таким как оксид алюминия, или, что более предпочтительно, путем заливки огнеупора вокруг нее. При удержании меди важно оставить место для дифференциального теплового расширения меди и удерживающего элемента. При удержании трубкой, ее размер можно подбирать таким образом, чтобы между медью и трубкой оставался небольшой зазор. При удержании огнеупором между двумя элементами следует поместить тонкий податливый расширяющийся материал, как описано в патенте США № 2004/0195091 A1, содержание которого включено в настоящий документ путем ссылки. Когда медь удерживается таким образом, коррозионные продукты остаются адгезированными, заполняют пустоты удерживающего элемента (если он пористый) и уплотняются, но не накладывают нагрузку, достаточную для разрушения удерживающего элемент. Самым внешним удерживающим элементом, выдерживающим эту нагрузку, является керамический анод, глиноземная трубка, огнеупор или другой материал. Однако медь, удерживаемая таким образом, может также передавать конструктивную нагрузку электрода и огнеупорной оболочки, на внутренний конструктивный опорный элемент, что обеспечивает

способность штыревого узла выступать как в качестве конструктивной опоры, так и в качестве электрического проводника, защищенного от коррозии.

5 [0097] Результаты испытаний показывают, что медный проводник, армированный нержавеющей сталью, может быть выполнен с возможностью выдерживать нагрузки на конструкцию и воздействие окружающей среды, одновременно обеспечивая электрические и тепловые характеристики для повышения эффективности электролизера.

10 [0098] Новые конструкции штыревого узла, описанные в настоящем изобретении, сводят штифт к его простейшим компонентам, используя ключевые достижения, обнаруженные для борьбы с коррозией штифта, за счет использования цельного металла, такого как медь, для защиты конструктивного элемента 120 (сердечник). Это предотвращает коррозию всех конструкционных элементов.

[0099] Преимущества представленного штыревого узла:

- 15 • обеспечение надлежащего соединения с распределительной пластиной и анодом;
- сочетание электрических и тепловых характеристик для повышения эффективности электролизера;
- обеспечение конструкционной и коррозионной прочности для продления срока службы анода; и/или
- 20 • использование хорошо зарекомендовавших себя способов соединения для обеспечения высокой надежности.

[00100] Хотя иллюстративные и в данном случае предпочтительные варианты осуществления изобретения подробно описаны выше, следует понимать, что концепции изобретения могут быть реализованы и использованы иным образом, и что прилагаемая формула изобретения предназначена для разъяснения таких вариантов, за исключением случаев, ограниченных предшествующим уровнем техники.

25

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Штыревой узел, выполненный с возможностью вставки в корпус электрода для подачи электрического тока к корпусу электрода, штыревой узел содержит:
 - конструктивный опорный элемент, выполненный с возможностью механической поддержки корпуса электрода; и
 - защитный проводящий элемент, выполненный с возможностью вставки конструктивного опорного элемента, защитный проводящий элемент содержащий, по меньшей мере, один металл или его сплав, способный проводить электрический ток, обеспечивая при этом защиту конструктивного опорного элемента от коррозии в течение заданного периода времени использования электрода.
2. Штыревой узел по п. 1, отличающийся тем, что конструктивный опорный элемент дополнительно выполнен с возможностью механической поддержки огнеупорного компонента электрода.
3. Штыревой узел по п. 1 или 2 отличающийся тем, что конструктивный опорный элемент содержит титан, никель, железо или их сплав.
4. Штыревой узел по любому из пп. 1-3, отличающийся тем, что конструктивный опорный элемент содержит нержавеющую сталь или сплав на основе никеля.
5. Штыревой узел по любому из пп. 1-4, отличающийся тем, что, защитный проводящий элемент представляет собой трубку, установленную вокруг конструктивного опорного элемента.
6. Штыревой узел по п. 5 отличающийся тем, что трубка представляет собой биметаллическую трубку, имеющую верхнюю секцию, содержащую первый металл, и нижнюю секцию, содержащую второй металл, причем как первый, так и второй металлы проводят указанный электрический ток.
7. Штыревой узел по п. 6 отличающийся тем, что первый металл верхней секции имеет меньшую теплопроводность, чем второй металл нижней секции.
8. Штыревой узел по п. 6 или 7, отличающийся тем, что верхняя секция и нижняя секция выполнены с возможностью соединения друг с другом сваркой.
9. Штыревой узел по любому из пп. 6-8, отличающийся тем, что:
 - первый металл биметаллической трубки содержит титан, никель, железо или их

сплав; и

второй металл биметаллической трубки содержит, по меньшей мере, один из кобальта, меди или их сплав.

10. Штыревой узел по любому из пп. 5-9, отличающийся тем, что конструктивный опорный элемент содержит штырь, выступающий из штыревой головки в продольном направлении, штырь выполнен с возможностью прохождения через центральный канал трубки.
11. Штыревой узел по п. 10, отличающийся тем, что штыревая головка выполнена с возможностью радиального выхода за пределы внешней поверхности нижней секции трубки для соединения штыревой головки с нижним концом трубки, образованным вторым металлом.
12. Штыревой узел по п. 10 или 11, отличающийся тем, что штырь соединяется с верхней секцией биметаллической трубки путем закрепления или сварки.
13. Штыревой узел по любому из пп. 10-12, дополнительно содержащий металлическую конструкцию, состоящую из проводящего металла или его сплава, металлическая конструкция состоит из стержня, проходящего в продольном направлении от нижнего конца стакана, причем стакан выполнен с возможностью обхвата штыревой головки для образования заблокированного соединения между конструкцией и штырем, как только штырь вставляют в трубку; при этом стержень конструкции выполнен с возможностью вставки в канал корпуса электрода, когда штыревой узел функционально связан с корпусом электрода.
14. Штыревой узел по п. 13, отличающийся тем, что металлическая конструкция состоит, по меньшей мере, из одного из кобальта, меди или их сплава.
15. Штыревой узел по п. 13 или 14, отличающийся тем, что стакан и стержень конструкции выполнены как одна деталь.
16. Штыревой узел по любому из пп. 13-15, отличающийся тем, что стакан имеет круглое поперечное сечение с диаметром стакана, превышающим диаметр штыревой головки, конструкцию устанавливают на штыревую головку так, что стакан выступает над нижней секцией биметаллической трубки таким образом, чтобы образовывать радиальный зазор вокруг штыревой головки.
17. Штыревой узел по п. 16, отличающийся тем, что конструкция стационарно

соединена с биметаллической трубкой посредством формовки металла под давлением иликовки.

18. Штыревой узел по п. 16 или 17, отличающийся тем, что конструкция стационарно соединена с биметаллической трубкой посредством ротационного обжатия радиального зазора.
19. Штыревой узел по любому из пп. 13-15, отличающийся тем, что стакан имеет поперечное сечение в форме эллипса, образующее большую ось и малую ось, причем большая ось больше диаметра штыревой головки, поэтому конструкцию собирают над штыревой головкой так, что стакан выступает за нижнюю секцию биметаллической трубки с образованием двух противоположных зазоров между штыревой головкой и стаканом вдоль большой оси.
20. Штыревой узел по п. 19, отличающийся тем, что конструкция стационарно соединена с биметаллической трубкой посредством формовки металла под давлением иликовки.
21. Штыревой узел по п. 19 или 20, отличающийся тем, что конструкция стационарно соединена с биметаллической трубкой посредством ротационного обжатия двух противоположных зазоров.
22. Штыревой узел по п. 17, 18, 20 или 21, отличающийся тем, что стакан, после стационарного соединения вокруг штыревой головки, образует выступ, при этом корпус электрода выполнен с возможностью опоры на выступ штыревого узла, когда штыревой узел функционально соединен с электродом.
23. Штыревой узел по любому из пп. 1-22, отличающийся тем, что защитный проводящий элемент выполнен с возможностью образования на своей внешней поверхности коррозионного продукта, который может быть механически ограничен без разрыва или трещин.
24. Штыревой узел по п. 23, отличающийся тем, что ограничивающий материал включает одно из следующих: трубку из спеченного оксида алюминия, порошок оксида алюминия, огнеупор, зернистую медь, инертный анодный материал или трубку из спеченного оксида олова.
25. Штыревой узел по любому из пп. 1-24, отличающийся тем, что электродом является анод.

26. Штыревой узел по п. 25, отличающийся тем, что анод представляет собой инертный анод или анод, выделяющий кислород.
27. Комплект электродов электролизера для получения алюминия, содержащий:
множество электродов, каждый из электродов имеет корпус электрода, соединенный со штыревым узлом, штыревой узел по любому из пп. 1-24; и
распределительную пластину, выполненную с возможностью оперативного соединения каждого из множества электродов через его соответствующий штыревой узел для обеспечения электрической цепи с электродами.
28. Комплект электродов по п. 27, отличающийся тем, что каждый из множества электродов является анодом.
29. Комплект электродов по п. 28, отличающийся тем, что анодом являются инертные аноды или аноды, выделяющие кислород.
30. Комплект электродов по любому из пп. 27-29, отличающийся тем, что множество анодов представляют собой вертикальные аноды, проходящие вниз от распределительной пластины.
31. Комплект электродов по любому из пп. 27-30, дополнительно содержащий огнеупорный цемент в составе огнеупорной оболочки вокруг штыревого узла каждого электрода, удерживающей коррозионные продукты защитного проводящего элемента.
32. Комплект электродов по любому из пп. 27 to 31, дополнительно содержащий керамическую трубку, охватывающую, по меньшей мере, частично защитный проводящий элемент штыревого узла для удержания коррозионных продуктов защитного проводящего элемента внутри корпуса анода.
33. Способ изготовления электрода, содержащего корпус электрода и штыревой узел, выполненный с возможностью вставки в корпус электрода для подачи электрического тока к корпусу электрода, способ, включающий:
- а) обеспечение конструктивного опорного элемента, выполненного с возможностью механической опоры корпуса электрода;
 - б) вставку конструктивного опорного элемента в защитный проводящий элемент, причем защитный проводящий элемент содержит, по меньшей мере, один металл или его сплав, способный проводить электрический ток, обеспечивая при этом

защиту конструктивного опорного элемента от коррозии в течение заданного периода времени использования электрода; и
с) электрическое соединение штыревого узла и корпуса электрода для формирования электрода.

34. Способ по п. 33, отличающийся тем, что конструктивный опорный элемент содержит титан, никель, железо или их сплав.
35. Способ по п. 34, отличающийся тем, что конструктивный опорный элемент содержит нержавеющую сталь или сплав на основе никеля.
36. Способ по любому из пп. 33-35, отличающийся тем, что защитный проводящий элемент представляет собой трубку, при этом этап b) способа включает:
установку трубки вокруг конструктивного опорного элемента.
37. Способ по п. 36, отличающийся тем, что трубка представляет собой биметаллическую трубку, имеющую верхнюю секцию, содержащую первый металл, и нижнюю секцию, содержащую второй металл, причем как первый, так и второй металлы проводят вышеуказанный электрический ток.
38. Способ по п. 37, отличающийся тем, что верхняя секция имеет меньшую теплопроводность, чем нижняя секция.
39. Способ по п. 38, дополнительно включающий этап соединения верхней секции и нижней секции вместе сваркой перед этапом b).
40. Способ по любому из пп. 37-39, отличающийся тем, что:
первый металл биметаллической трубки содержит титан, никель, железо или их сплав, предпочтительно стальной сплав, более предпочтительно сплав из нержавеющей стали или сплав на основе никеля, такой как сплав Инконель[®], и
второй металл биметаллической трубки содержит, по меньшей мере, один из кобальта, меди и/или их сплава.
41. Способ по п. 40, отличающийся тем, что первый металл биметаллической трубки состоит из сплава нержавеющей стали или сплава на основе никеля.
42. Способ по любому из пп. 37-41, отличающийся тем, что на этапе a) способа конструктивный опорный элемент содержит штырь, проходящий в продольном направлении от штыревой головки, этап б) способа далее включает:

проведение штыря через центральный канал трубки.

43. Способ по п. 42, отличающийся тем, что штыревая головка выполнена с возможностью радиального выхода за пределы внешней поверхности нижней секции трубки, при этом этап b) способа включает:
- соединение штыревой головки с нижним концом трубки, образованным вторым металлом.
44. Способ по п. 42 или 43, отличающийся тем, что этап b) дополнительно включает:
- соединение штыря с верхней секцией биметаллической трубки путем закрепления или сварки.
45. Способ по любому из пп. 37-44, отличающийся тем, что штыревой узел дополнительно содержит металлическую конструкцию, состоящую из токопроводящего металла или его сплава, металлическая конструкция содержит стержень, проходящий в продольном направлении от нижнего конца стакана, при этом этап b) способа дополнительно включает:
- обхватывание стаканом штыревой головки для образования заблокированного соединения между металлической конструкцией и штырем после вставки штыря в трубку; и
 - этап c) далее включает:
 - вставку стержня металлической конструкции в канал корпуса электрода для функционального соединения штыревого узла с корпусом электрода.
46. Способ по п. 45, отличающийся тем, что металлическая конструкция состоит, по меньшей мере, из одного из кобальта, меди или их сплава.
47. Способ по п. 45 или 46, отличающийся тем, что стакан и стержень металлической конструкции выполнены как одна деталь.
48. Способ по любому из пп. 45-47, отличающийся тем, что стакан имеет круглое поперечное сечение с диаметром стакана, превышающим диаметр штыревой головки, при этом этап b) включает:
- сборку металлической конструкции над штыревой головкой так, что стакан выступает за нижнюю секцию биметаллической трубки с образованием радиального зазора по всему периметру штыревой головки.
49. Способ по п. 48, дополнительно включающий постоянное соединение металлической конструкции к биметаллической трубке посредством формовки под

давлением иликовки радиального зазора.

50. Способ по п. 49, отличающийся тем, что металлическая конструкция соединена с биметаллической трубкой посредством ротационного обжатия радиального зазора.
51. Способ по любому из пп. 45-47, отличающийся тем, что стакан имеет поперечное сечение в форме эллипса, образующее большую ось и малую ось, причем большая ось больше диаметра штыревой головки, при этом этап b) способа включает:
сборку металлической конструкции над штыревой головкой так, что стакан выступает за нижнюю секцию биметаллической трубки с образованием двух противоположных зазоров между штыревой головкой и стаканом вдоль большой оси.
52. Способ по п. 51, дополнительно включающий постоянное соединение металлической конструкции к биметаллической трубке посредством формовки металла под давлением иликовки двух противоположных зазоров.
53. Способ по п. 52, отличающийся тем, что металлическая конструкция соединена с биметаллической трубкой посредством ротационного обжатия двух противоположных зазоров.
54. Способ по любому из пп. 45-53, отличающийся тем, что постоянное соединение металлической конструкции вокруг биметаллической трубки включает формирование выступа стакана, сформованного или выкованного вокруг штыревой головки, в результате чего при использовании корпус электрода опирается на выступ штыревого узла, когда штыревой узел функционально соединен с электродом.
55. Способ по любому из пп. 33-54, отличающийся тем, что этап c) электрического соединения штыревого узла с корпусом электрода включает:
- установку и выравнивание крепления штыревого узла в канале корпуса электрода;
 - заливку первой порции зернистой меди в канал корпуса электрода;
 - в некоторых случаях, уплотнение первой порции зернистой меди;
 - заливку огнеупорного материала в канал поверх первой порции зернистой меди; и
 - обеспечение отверждения огнеупорного материала.
56. Способ по п. 55, дополнительно включающий заливку второй порции зернистой меди поверх первой порции, при этом вторая порция зернистой меди содержит частицы меди меньшего размера, чем частицы меди первой порции зернистой меди.

57. Способ по п. 55 или 56, отличающийся тем, что уплотнение зернистой меди осуществляется с помощью вибрации корпуса электрода.
58. Способ по любому из пп. 55- 57 дополнительно ограниченный согласно п. 54, в котором нижняя граница огнеупорного материала прилегает к выступу.
59. Способ по любому из пп. 33-58, отличающийся тем, что защитный проводящий элемент выполнен с возможностью образования на своей внешней поверхности коррозионного продукта, который может быть механически ограничен без разрыва или трещин.
60. Способ по п. 59, отличающийся тем, что ограничивающий материал включает одно из следующих: трубку из спеченного оксида алюминия, порошок оксида алюминия, огнеупор, зернистую медь, инертный анодный материал или трубку из спеченного оксида олова.
61. Способ по любому из пп. 33-60, отличающийся тем, что электрод представляет собой анод.
62. Способ по п. 61, отличающийся тем, что анод является инертным анодом или анодом, выделяющим кислород.

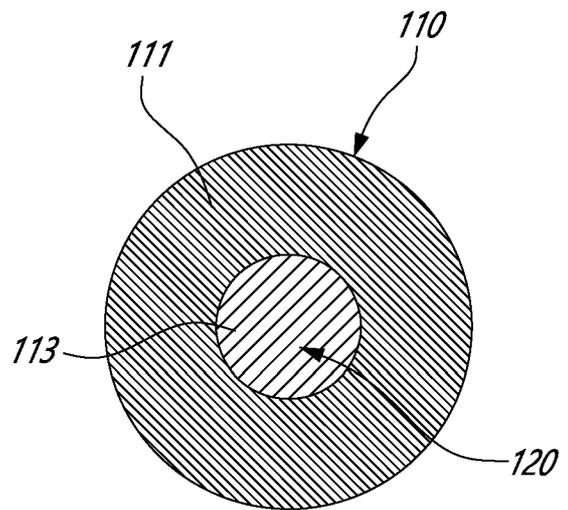
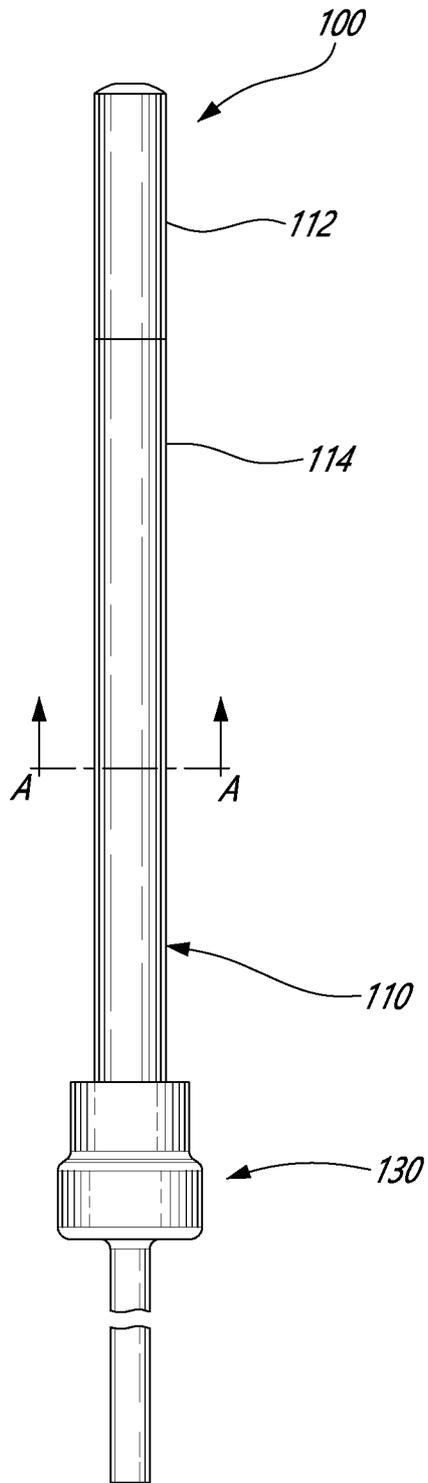


Fig. 2

Fig. 1

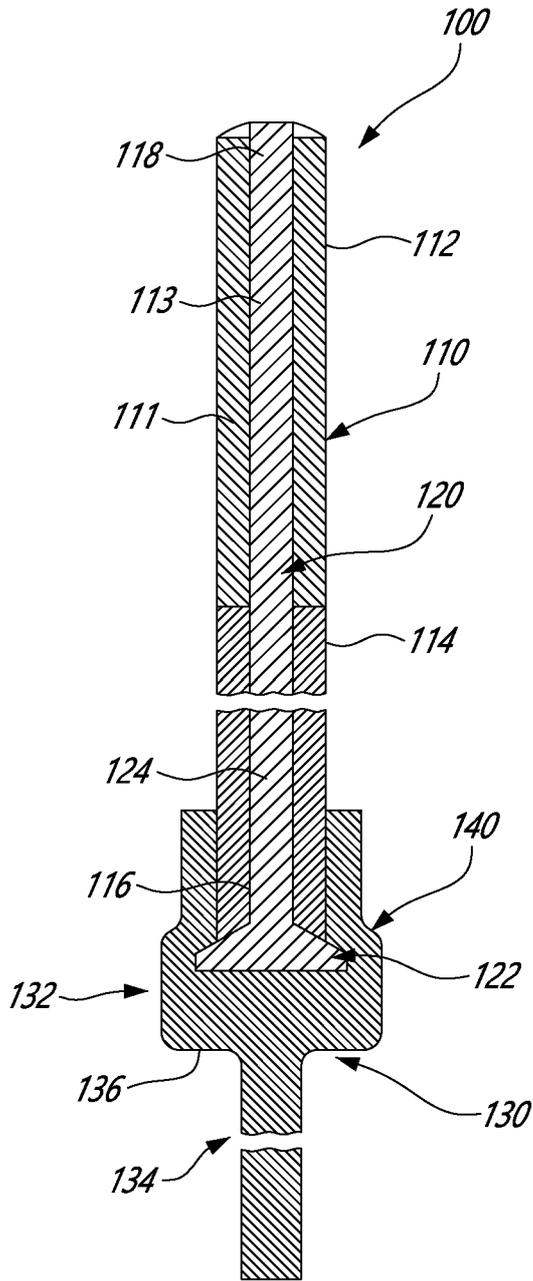


Fig. 3A

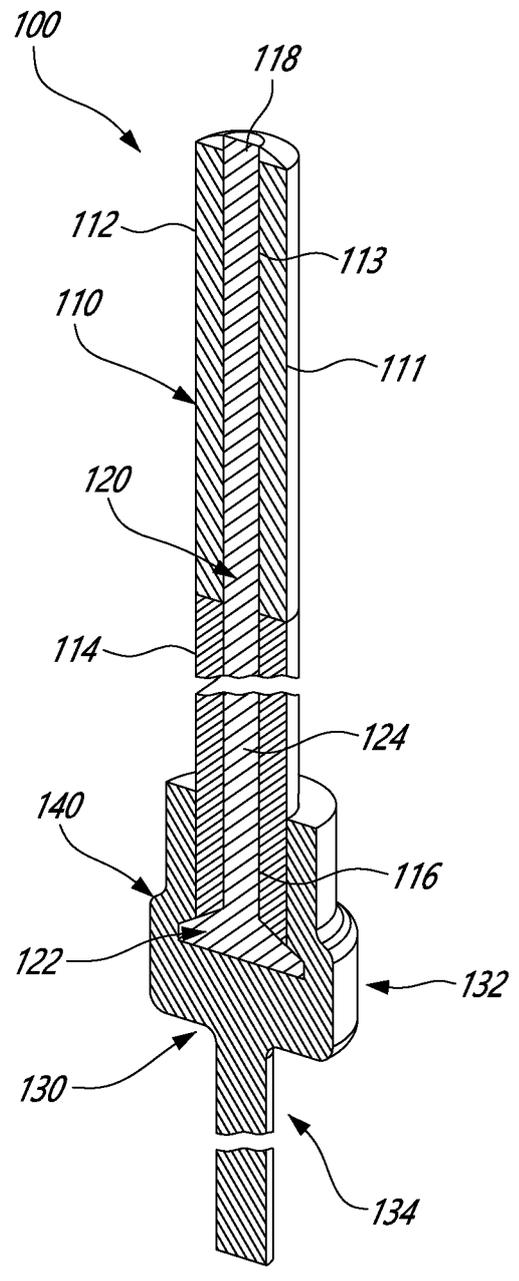


Fig. 3B

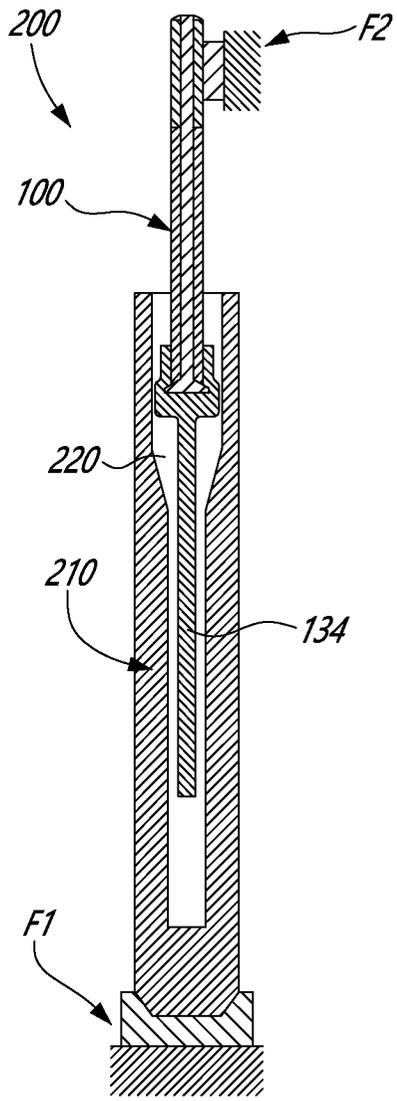


Fig. 4A

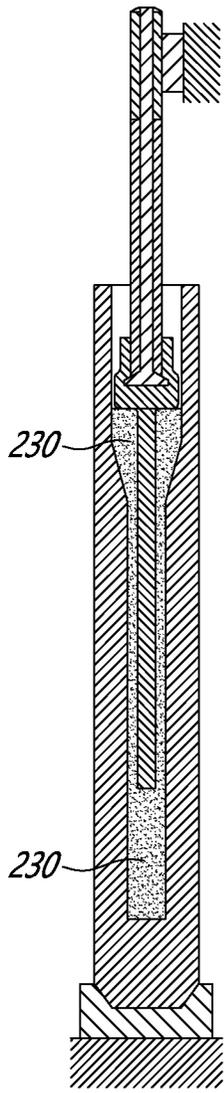


Fig. 4B

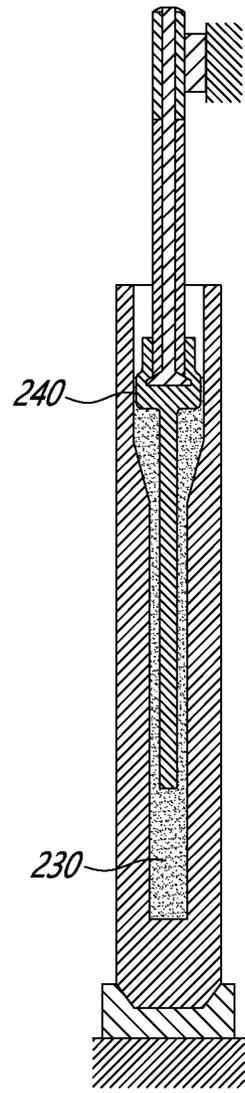


Fig. 4C

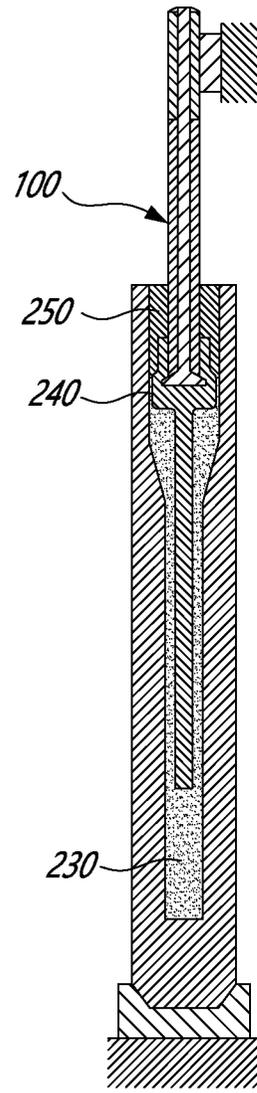


Fig. 4D

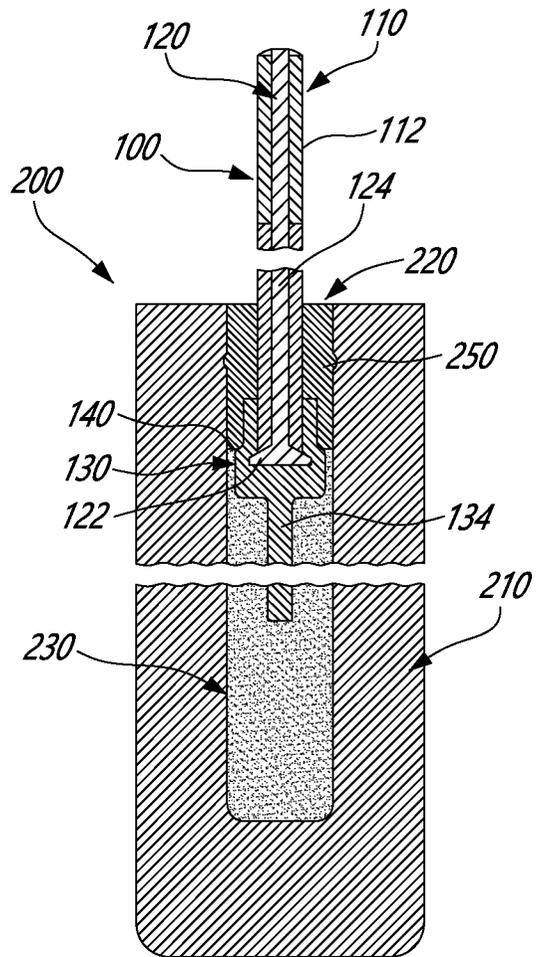


Fig. 5

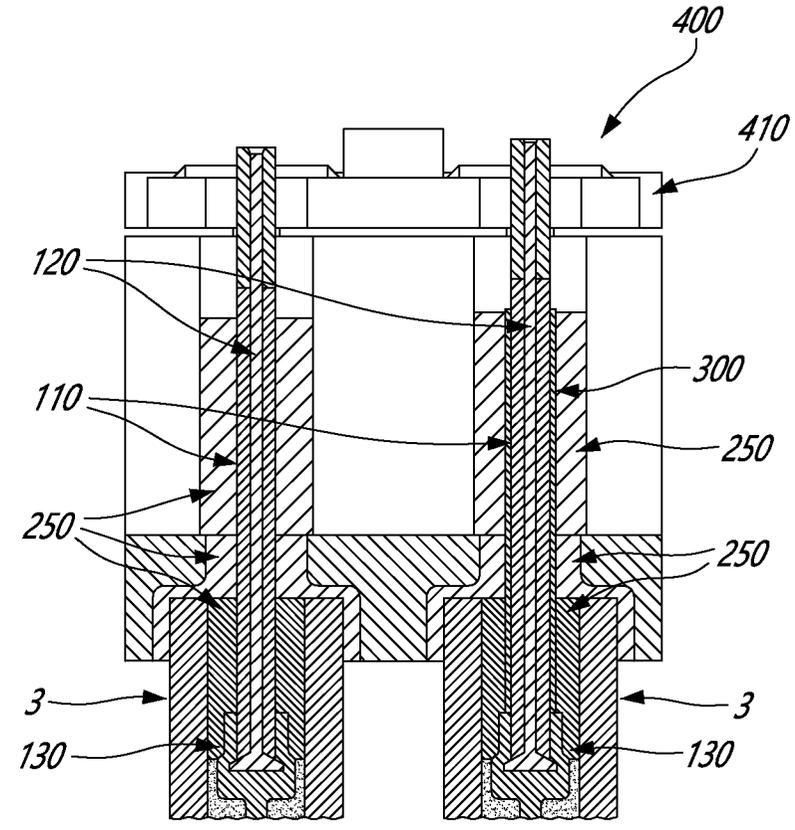


Fig. 6