

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **036437**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2020.11.11**

(21) Номер заявки  
**201890985**

(22) Дата подачи заявки  
**2018.05.16**

(51) Int. Cl. **B23H 3/04 (2006.01)**  
**B23H 7/26 (2006.01)**  
**B23H 9/10 (2006.01)**

---

(54) **УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ЗАГОТОВКИ**

---

(31) **102017110733.9**

(32) **2017.05.17**

(33) **DE**

(43) **2018.11.30**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**ЛЯЙСТРИТЦ ТУРБИНЕНТЕХНИК  
НЮРНБЕРГ ГМБХ (DE)**

(56) DE-A1-102011082795  
DE-A1-102012201052  
DE-A1-102015102720  
US-A-5244548  
GB-A-952719  
RU-C1-2058863  
SU-A1-189275

(72) Изобретатель:  
**Шмидт Георг, Либль Синди (DE)**

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

---

(57) Устройство для электрохимической обработки металлической заготовки, включающее в себя несколько электродов, имеющих направленную к заготовке моделирующую поверхность, которые могут линейно перемещаться из исходного положения в конечное положение с помощью соответствующих линейных приводных узлов относительно заготовки, при этом предусмотрены по меньшей мере три электрода (4, 5, 6, 7), которые расположены со сдвигом по периметру заготовки (2) и своими моделирующими поверхностями (13, 14, 15, 16) во время всего перемещения перестановки из исходного в конечное положение, касаясь друг друга, охватывают друг друга отдельными участками и ограничивают канал для текучей среды (12), проходящий закрытым образом вокруг по периметру заготовки (2).

**B1**

**036437**

**036437**  
**B1**

Изобретение касается устройства для электрохимической обработки металлической заготовки, включающего в себя несколько электродов, имеющих направленную к заготовке моделирующую поверхность, которые могут линейно перемещаться из исходного положения в конечное положение с помощью соответствующих линейных приводных узлов относительно заготовки.

Для обработки металлических заготовок, которые состоят из электропроводного материала, когда должны создаваться сложные геометрии, применяется способ электрохимического съема (ЕСМ -Electro Chemical Machining, англ. ЭХО - электрохимическая обработка). Примером заготовки, которая может изготавливаться путем такой ЭХ-обработки, является конструктивный элемент лопатки лопастной машины (машины, использующей энергию потока), такой как, например, лопатка двигателя или тому подобное.

Способ ЭХО представляет собой способ моделирования без снятия стружки. Служащее для этого устройство включает в себя несколько электродов, которые могут перемещаться линейно посредством надлежащих линейных приводных узлов из исходного положения при еще не обработанной заготовке в конечное положение с обработанной к этому моменту заготовкой. Эти движущиеся электроды образуют соответствующие катоды, в то время как конструктивный элемент образует анод. Между направленными к заготовке моделирующими поверхностями, определяющими трехмерную конечную геометрию, которую должна иметь заготовка, и самой поверхностью материала во время всего процесса моделирования образован канал для текучей среды в виде зазора, который проходит закрытым образом вокруг заготовки, так что в этом канале может циркулировать электролит, который забирает и отводит отделенный материал.

Такое устройство известно, например, из DE 102012 01052 A1. Предназначенное для изготовления лопаток лопастной машины устройство включает в себя там несколько отдельных электродов.

Если смотреть в продольном направлении заготовки, то есть в этом случае лопатки, то есть по длине рабочей части лопатки между хвостовиком лопатки и бандажом, у приведенного там устройства предусмотрены три электрода, которые могут перемещаться под разными углами относительно поверхности лопатки, что позволяет заходить этими электродами также под необходимые сохраняемые поднутрения. Если смотреть в окружном направлении, то есть вокруг самой лопатки, предусмотрены всего шесть электродов, при этом электроды, образующие верхнюю сторону лопатки и нижнюю сторону лопатки, если смотреть в продольном направлении рабочей части лопатки, в свою очередь, состоят из описанных трех электродов. Расположенные, распределяясь по периметру рабочей части лопатки, электроды тоже движутся с помощью соответствующих линейных приводов линейно относительно поверхности лопатки, во время перемещения они находятся на расстоянии друг от друга и встречаются друг с другом только при достижении конечного положения, чтобы в этом положении моделировать окончательную трехмерную геометрию рабочей части.

Так как распределенные по периметру электроды, между которыми предусмотрены соответствующие уплотнительные элементы, чтобы закрывать и уплотнять канал для текучей среды, проходящий вокруг рабочей части лопатки, во время почти всего перемещения перестановки до достижения конечного положения находятся на расстоянии друг от друга, то есть только движутся друг к другу, между отдельными электродами, следовательно, получают области, которые не обрабатываются или обрабатываются лишь недостаточно, в результате того обстоятельства, что напротив этих областей между находящимися на расстоянии друг от друга электродами не предусмотрена или соответственно не находится никакой электрод, то есть моделирующая поверхность. Поэтому соответствующие участки материала обрабатываются и удаляются только в последний момент, причем это иногда осуществляется даже таким образом, что удаляются твердые части, связь которых с заготовкой разъединяется только незадолго до или при достижении конечного положения с помощью очень близко сдвигаемых друг с другом в этом случае электродов.

То есть происходит относительно негетогенная обработка поверхности после того, как в областях между соседними находящимися на расстоянии друг от друга и только придвигаемыми друг к другу электродами сначала не происходит, а по мере подачи электродов иногда происходит лишь рудиментарная обработка. Следовательно, на заготовке в области столкновения двух соседних электродов неизбежно образуются зоны, обработка которых является отличной, то есть негетогенной по сравнению с обработкой соседних поверхностей, охваченных электродом во время перемещения его подачи. В результате получается поверхность готовой заготовки, имеющая негетогенности.

Трудности возникают, в частности, также в области кромок рабочей части лопатки. Верхняя и нижняя стороны рабочей части лопатки обрабатываются электродами большой площади. Следовательно, в области кромок, то есть где имеются очень узкие радиусы, имеются зоны, которые находятся под очень острым углом, вплоть до того, что они проходят параллельно к направлению перемещения соседнего электрода, обрабатывающего верхнюю и нижнюю стороны. В частности, вышеописанные трудности возникают в кромочной области, там в уровне техники работа ведется только очень узким обрабатывающим эту кромочную область электродом, который тоже только непосредственно при достижении конечного положения сходится с соседним электродом верхней или нижней стороны.

Таким образом, в основе изобретения лежит проблема, указать улучшенное по сравнению с указан-

ным устройством для ЭХ-обработки металлических конструктивных элементов, в частности конструктивных элементов лопатки лопастной машины.

Для решения этой проблемы у устройства вышеназванного рода в соответствии с изобретением предусмотрено наличие по меньшей мере трех электродов, которые расположены со сдвигом по периметру заготовки и своими моделирующими поверхностями во время всего перемещения перестановки из исходного в конечное положение, касаясь друг друга, охватывают друг друга отдельными участками и ограничивают канал для текучей среды, проходящий закрытым образом вокруг по периметру заготовки.

Изобретение отличается тем, что соседние электроды во время всего перемещения перестановки касаются друг друга по краю и охватывают или соответственно перекрывают друг друга, так что они своими моделирующими поверхностями, которые вследствие касания при перекрытии присоединяются друг к другу, ограничивают проходящий вокруг заготовки закрытый канал для текучей среды в виде зазора. Во время перемещения перестановки электроды, так как они переставляются с различными направлениями перемещения относительно заготовки, хотя и изменяют свое относительное положение друг относительно друга, однако они постоянно остаются в контакте, при этом перекрытие во время перемещения перестановки увеличивается, так как вследствие съема материала они еще больше приближаются друг к другу. Вследствие постоянного касания канал для текучей среды тоже остается постоянно ограниченным моделирующими поверхностями и закрытым.

В результате вся подлежащая обработке область заготовки, охваченная моделирующими поверхностями, охвачена постоянно, то есть напротив каждой точки поверхности области заготовки, охваченной комбинированной моделирующей поверхностью большего размера, во время всей ЭХ-обработки находится моделирующая поверхность. Это, в свою очередь, приводит к тому, что вся охваченная область заготовки может обрабатываться гомогенно, следовательно, на переходе от одного электрода к другому не возникают никакие кромочные или краевые области, так как вследствие охвата, то есть перекрытия, и в этой переходной области нет зазора между электродами. Окончательно обработанная заготовка отличается, следовательно, гомогенной картиной обработки в области, обработанной по моделирующим поверхностям, качество работы заметно улучшено по сравнению с прежними способами работы.

Чтобы обеспечить во время перемещения перестановки, с одной стороны, подвижность электродов несмотря на касание и чтобы, с другой стороны, обеспечивалось уплотнение канала для текучей среды, целесообразно, если предусмотренный между двумя электродами электрод на моделирующей поверхности имеет две поверхности скольжения, которыми он скользит по соответствующим наружным поверхностям скольжения двух соседних электродов. То есть взаимодействующие друг с другом электроды имеют соответствующие геометрии скольжения, которые обеспечивают возможность плоскостного прилегания друг к другу и плоскостного соскальзывания друг под друга. В случае конструктивного элемента лопатки предусмотрены, например, два находящихся друг напротив друга электрода, один из которых имеет моделирующую поверхность для образования геометрии верхней стороны, а другой - моделирующую поверхность для образования геометрии нижней стороны. Третий расположенный между этими двумя электродами служит своей моделирующей поверхностью для образования кромочной области конструктивного элемента лопатки. Этот средний третий электрод имеет на своей моделирующей поверхности, с одной стороны, модулирующий участок, который в конечной геометрии определяет геометрию кромки лопатки, а с другой стороны, также две расположенные рядом с ним поверхности скольжения, придающие всей моделирующей поверхности, по существу, V-образную геометрию. Эти две поверхности скольжения скользят по как бы комплементарным поверхностям скольжения, выполненным на наружной стороне двух соседних электродов. Вследствие плоскостного наложения электрода получается, следовательно, с одной стороны, постоянный контакт, который допускает хорошее ведение, но с другой стороны, также плотный контакт, который уплотняет канал для текучей среды в каждом относительном положении электродов друг относительно друга. Изготовленные чаще всего из латуни электроды допускают простое соскальзывание при малом трении.

Когда создается вытянутый в длину плоский и имеющий закругленные кромки конструктивный элемент, такой как, например, конструктивный элемент лопатки, то предусмотрены, следовательно, два находящихся друг напротив друга электрода, которые имеют моделирующие поверхности, моделирующие верхнюю и нижнюю сторону заготовки, в то время как указанный по меньшей мере один расположенный между ними третий электрод имеет моделирующую поверхность, предпочтительно моделирующую кромочную область заготовки. Однако если заготовка имеет другую геометрию, то моделирующие поверхности верхнего и нижнего, а также указанного по меньшей мере одного бокового электрода, естественно, выполнены иначе в зависимости от вырабатываемой трехмерной конечной геометрии.

В случае плоского имеющего две боковые кромки конструктивного элемента, такого как, например, конструктивный элемент лопатки, также целесообразно, если и вторая кромка подвергается целенаправленной обработке, если это необходимо. В этом случае целесообразно, если предусмотрен находящийся напротив третьего электрода четвертый электрод, который имеет моделирующую поверхность, предпочтительно моделирующую кромочную область заготовки. То есть в этом случае находят применение четыре электрода, которые в случае конструктивного элемента лопатки, например, подвижны ортогонально друг к другу. Два электрода, образующих кромки, в случае этого примера третий и четвертый элек-

троды, охватывают своими соответствующими краями, то есть имеющимися там поверхностями скольжения, два электрода, образующих верхнюю и нижнюю стороны, то есть первый и второй электроды, по их имеющимся там наружным поверхностям скольжения. Однако эта система электродов, то есть этот вид охвата целесообразен также тогда, когда должен изготавливаться конструктивный элемент, иной, чем конструктивный элемент лопатки.

То есть в принципе независимо от геометрии изготавливаемой заготовки могут быть предусмотрены три или четыре электрода.

Однако если в качестве заготовки изготавливается конструктивный элемент лопатки лопастной машины, имеющий участок лопатки, который имеет плоское продолговатое поперечное сечение, то, как описано, первый и второй электроды образуют своими соответствующими моделирующими поверхностями плоскую верхнюю и нижнюю стороны, в то время как третий и при необходимости четвертый электроды имеют моделирующие поверхности, моделирующие кромочную область, имеющую малый радиус.

Если применяются только три электрода, что, например, достаточно, когда заготовка должна обрабатываться только с трех сторон, то целесообразно, если два наружных электрода скользят по ограничивающему канал для текучей среды неподвижному конструктивному элементу канала. Этот конструктивный элемент канала, который выполняет функцию уплотнительного элемента, служит поверхностью уплотнения и скольжения, к которой прилегают два наружных электрода и по которой они скользят. Даже в случае конструктивного элемента лопатки, у которого кромка лопатки, присоединяющаяся к указанному конструктивному элементу канала, либо не обрабатывается, либо обрабатывается в последующем шаге обработки, целесообразна такая конфигурация трех электродов, при этом в конечном положении два наружных электрода, которые скользят по конструктивным элементам канала, также могут касаться друг друга, так что, таким образом, и в этой кромочной области имеется определенный съем материала без выполнения определенной кромочной геометрии с помощью четвертого электрода.

Однако если применяются четыре электрода, то два находящихся друг напротив друга электрода охватывают два других электрода. Такая геометрия особенно предпочтительна при изготовлении конструктивного элемента лопатки лопастной машины тогда, когда обе кромочные области нуждаются в обработке, и трехмерный конструктивный элемент лопатки должен выполняться за один единственный рабочий ход.

Вследствие охвата электродов можно даже при сложной геометрии заготовки, такой как, например, лопатка лопастной машины, которая имеет выпуклые и при необходимости скрученные в продольном направлении поверхности, можно расположить оси перемещения линейных приводных узлов двух соседних электродов под углом  $90^\circ$  друг к другу, то есть в случае трех или четырех электродов оси перемещения линейных приводных узлов проходят перпендикулярно друг другу. Однако это не обязательно. Потому что в зависимости от конкретной геометрии изготавливаемой заготовки может быть также вполне целесообразно расположить оси перемещения линейных приводных узлов двух соседних электродов под углом меньше или больше  $90^\circ$  друг к другу.

Особенно целесообразно в этой связи, если линейные приводные узлы для перестановки угла между осями перемещения двух соседних линейных приводных узлов могут перемещаться по круговой траектории. В отношении самого устройства это дает возможность варьировать пространственное расположение осей перемещения линейных приводных узлов и вместе с тем их положение друг относительно друга, так что устройством обеспечена высокая степень гибкости. Так как электроды являются отсоединяемыми элементами, которые могут соединяться с линейным приводным узлом с возможностью замены, предоставляется возможность переоснащения устройства для изготовления заготовок иной формы. Потому что без затруднений можно заменять электроды и размещать электроды, которые имеют моделирующие поверхности иной формы, а также соответственно переставлять оси перемещения, то есть в результате изменять угол между двумя соседними осями перемещения. Тем самым обеспечена высокая степень гибкости в отношении изготавливаемых с помощью одного устройства заготовок, то есть моделирования соответствующих геометрий поверхности.

Перестановка линейных приводных узлов осуществляется простым образом благодаря тому, что они могут перемещаться по круговой траектории. Для как можно более точного позиционирования предпочтительно каждый линейный приводной узел движется по круговой траектории с помощью исполнительного двигателя, чтобы обеспечить возможность высокоточного позиционирования и арретирования в соответствующем конечном положении.

Движение каждого электрода осуществляется, как описано, с помощью отдельного линейного приводного узла. Этот узел включает в себя предпочтительно приводимый в действие с помощью приводного двигателя неизменяемый своего положения винтовой шпиндель и движущуюся по нему гайку, которая связана с держателем электрода. То есть реализован шпиндельный привод, который обеспечивает возможность высокоточного позиционирования электрода. Альтернативно может быть также предусмотрен линейно подвижный, несущий на себе электрод винтовой шпиндель, который связан с приводным двигателем.

В качестве приводного двигателя предпочтительно применяется высокомоментный двигатель, с

помощью которого возможно также высокоточное позиционирование. Помимо этого, высокомоментный двигатель дает также возможность, когда устройство работает в импульсном режиме, то есть когда ток и/или напряжение не подается постоянно, а подается импульсно с частотой в несколько Гц, кратковременно выдвигать электроды с соответствующей частотой для временного открытия или соответственно увеличения канала для текущей среды при отключенном токе и напряжении из положения моделирования и после этого при подаваемом токе и напряжении сразу снова перемещать в положение моделирования.

Целесообразным образом предусмотрено устройство управления, которое при работе управляет всеми релевантными компонентами устройства. При этом управление работой с помощью этого центрального устройства управления возможно предпочтительно таким образом, что электроды, начиная от исходного положения, сначала в первом рабочем режиме могут перемещаться при постоянно подаваемом токе и постоянно подаваемом напряжении в направлении заготовки и по достижении определенного промежуточного положения во втором рабочем режиме могут перемещаться прерывисто в импульсном режиме поочередно к заготовке и от нее при импульсно подаваемом токе и импульсно подаваемом напряжении до конечного положения. Следовательно, этот особенно целесообразный вариант осуществления изобретения предусматривает устройство, у которого за один рабочий ход одна и та же заготовка может обрабатываться в двух различных рабочих режимах, а именно первом рабочем режиме при постоянно подаваемом токе и напряжении, так называемой "генераторной прошивке", а также втором рабочем режиме при импульсно подаваемом токе и напряжении, так называемом "импульсном режиме" или "режиме ПЭХО" (РЕСМ=Precision Electro Chemical Machining, англ. ПЭХО - прецизионная электрохимическая обработка). В первом названном рабочем режиме ток и напряжение постоянно подаются через катоды, то есть электроды, и заготовку в качестве анода при одновременно предпочтительно постоянном продвижении электродов. Этот первый рабочий режим выполняется до тех пор, пока не будет достигнуто предварительно определенное промежуточное положение, которое регистрируется надлежащей измерительной техникой. До достижения промежуточного положения уже осуществляется достаточный съем материала в первом рабочем режиме. Затем устройством управления автоматически осуществляется переключение на второй рабочий режим, который служит для чистовой обработки, то есть окончательной обработки поверхности. В этом импульсном режиме ток и напряжение подаются только импульсно с частотой, например, 5-15 Гц. То есть он подключается и отключается с этой частотой. В этом импульсном режиме, когда подаются ток и напряжение, данный электрод еще ближе подводится к заготовке, то есть зазор уменьшается по сравнению с шириной зазора в первом рабочем режиме. Вследствие очень узкого зазора течение электролита через зазор сокращено почти до полного прекращения. Однако чтобы можно было отводить продукты съема, когда импульс тока и напряжения закончился и, следовательно, ток и напряжение отключены, одновременно с отключением электрод немного отодвигается назад, так что зазор временно увеличивается, и имеющийся под давлением электролит может течь через зазор, вымывая при этом продукты съема. Затем с соответствующей частотой электрод снова движется в положение съема, и подаются ток и напряжение и пр. Этот второй режим работы сохраняется до тех пор, пока не будет смоделирована конечная геометрия.

То есть в соответствии с изобретением можно за один единственный процесс обработки, то есть один единственный цикл перемещения из исходного положения в конечное положение путем соответствующего активирования задействуемых компонентов устройством управления обрабатывать два различных рабочих режима. То есть устройство может эксплуатироваться как в генераторном режиме, так и в импульсном режиме. При этом с особым преимуществом не требуется повторное зажатие заготовки, то есть смена устройства. То есть заготовка всегда остается в одном и том же закрепленном положении, какие-либо допуски позиционирования, которые в итоге неизбежны при смене устройства, с особым преимуществом отсутствуют. Так как в двух рабочих режимах применяются также одни и те же электроды, то есть они тоже не сменяются, и в этом месте тоже получается отсутствие допуска или погрешности моделирования. Предлагаемое изобретением устройство позволяет в одном единственном процессе обработки использовать преимущества двух различных рабочих режимов, связанные с замечательной вследствие ее гомогенности обработкой поверхности заготовки.

При этом целесообразным образом для каждого электрода предназначено поддерживающее связь с устройством управления сенсорное устройство, с помощью которого либо непосредственно, либо опосредствованно может регистрироваться положение каждого электрода, при этом устройство управления управляет работой в зависимости от сенсорной регистрации. Данное сенсорное устройство допускает высокоточную регистрацию положения, так что всегда известно точное положение данного электрода. В зависимости от положения электрода устройство управления управляет соответствующими компонентами в зависимости от рабочего режима, то есть в каждом случае высокомоментными двигателями, которые ответственны за продвижение, а также генератором, когда должна варьироваться его мощность. В импульсном режиме обязательно осуществляется управление как генератором, так и каждым высокомоментным двигателем, при этом с помощью соответствующего сенсорного устройства регистрируется достижение конечного положения за один ход и соответственно этому осуществляется управление генератором, который подключается, когда достигнуто положение моделирования, и вклю-

чается снова соответственно управляемой частоте циклов, после чего высокомоментный двигатель снова для открытия зазора для текучей среды двигает электрод назад и пр. При необходимости устройство управления управляет также насосом, с помощью которого подается электролит и который, например, в генераторном режиме действует постоянно, в то время как в импульсном режиме он при необходимости эксплуатируется тоже импульсно.

В усовершенствовании изобретения может быть предусмотрено позиционирующее устройство для автоматического позиционирования заготовки в рабочем положении в рабочей камере. Это позиционирующее устройство позволяет высокоточное, потому что при необходимости осуществляется регистрация с помощью соответствующей сенсорной или измерительной техники, позиционировать расположенную на нем подлежащую обработке заготовку в рабочей камере, в которой осуществляется съем. Заготовка во время обработки остается на позиционирующем устройстве, так что и в этом месте зажатие, то есть позиционирование, осуществляется только один единственный раз.

Позиционирующее устройство включает в себя предпочтительно линейно движущийся шпиндель, на котором предусмотрено крепёжное устройство для удерживания заготовки. Этот шпиндель, который, например, позиционирован вертикально, позволяет вдвигать заготовку в рабочую камеру сверху и по окончании обработки соответственно выдвигать. Конечно, и здесь для него предназначен соответствующий приводной двигатель, например снова высокомоментный двигатель, который делает возможным высокоточное прецизирование.

При этом возможно, чтобы шпиндель и вместе с ним заготовка во время перемещения заготовки в рабочее положение совершала чисто линейное движение, в то время как соответственно в рабочем положении заготовка находилась в покое. Альтернативно возможно, чтобы шпиндель во время перевода заготовки в рабочее положение и/или во время нахождения заготовки в рабочем положении мог вращаться вокруг своей продольной оси. Это позволяет в случае заготовки, которая с завода-изготовителя уже имеет немного закрученную вокруг продольной оси геометрию, продевать заготовку, в этом случае, например, конструктивный элемент лопатки между электродами небольшим вращательным движением, то есть компенсировать имеющееся у заготовки закручивание небольшим вращательным движением во время перемещения ввода. Также во время работы иногда требуется в зависимости от выполняемой геометрии минимально вращать заготовку, например, на угол максимум до  $1^\circ$ .

В усовершенствовании изобретения может быть предусмотрен предназначенный для позиционирующего устройства магазин, в который могут помещаться несколько подлежащих обработке заготовок, которые могут автоматически извлекаться с помощью позиционирующего устройства или предназначенного для этого заменяющего устройства и при необходимости также снова могут помещаться туда после обработки. То есть можно комплектовать магазин желаемым количеством заготовки или максимально вмещаемым количеством заготовок и затем начинать полностью автоматизированный процесс, при этом имеет место полностью автоматизированный процесс от извлечения подлежащих обработке заготовок до складывания обработанных заготовок. Позиционирующее устройство вместе со своим крепёжным устройством способно автоматически брать данную подлежащую обработке заготовку, позиционировать и снова переводить предпочтительно опять в магазин. Если между магазином и позиционирующим устройством включено заменяющее устройство, то оно забирает заготовку и соответственно передает ее. Управление этим процессом также осуществляется предпочтительно с помощью центрального устройства управления.

Чтобы обеспечить возможность всегда одинакового крепления заготовок, целесообразным образом каждая заготовка закреплена в отдельном держателе заготовки, который может автоматически брать заготовку позиционирующим устройством, то есть его крепёжным устройством. Таким образом, и в этом месте имеется определенный одинаковый от одной заготовки к другой интерфейс.

Наряду с самим устройством, изобретение касается также способа электрохимической обработки заготовки с применением устройства вышеописанного рода. Способ в соответствии с изобретением отличается тем, что электроды во время обработки движутся из исходного положения в направлении заготовки в конечное положение, и одновременно через радиально ограниченный моделирующими поверхностями канал для текучей среды между заготовкой и электродами качается текучая среда.

При этом устройство управления может управлять работой устройства таким образом, что электроды, начиная от исходного положения, сначала в первом рабочем режиме при постоянно подаваемом токе и напряжении движутся в направлении заготовки и по достижении определенного промежуточного положения во втором рабочем режиме прерывисто в импульсном режиме движутся поочередно к заготовке и от нее при импульсно подаваемом токе и напряжении до конечного положения.

Другие преимущества и подробности настоящего изобретения следуют из описанных далее примеров осуществления. При этом показано:

фиг. 1 - первая система электродов ЭХО-устройства, имеющая три электрода, в исходном положении;

фиг. 2 - система электродов с фиг. 1 в конечном положении;

фиг. 3 - вторая система электродов ЭХО-устройства, имеющая четыре электрода, в исходном положении;

фиг. 4 - система электродов с фиг. 3 в конечном положении;

фиг. 5 - рассеченный местный вид ЭХО-устройства с изображением электродов и их линейных приводных узлов;

фиг. 6 - принципиальное изображение ЭХО-устройства, имеющего поворотные линейные приводные узлы, и

фиг. 7 - принципиальное изображение ЭХО-устройства со всеми компонентами.

На фиг.1 в качестве части предлагаемого изобретением устройства 1 для электромеханической обработки металлической заготовки 2 показана система 3 электродов, включающая в себя в показанном примере четыре отдельных электрода 4, 5, 6, 7, которые все вместе могут перемещаться с помощью отдельных, здесь подробно не показанных линейных приводных узлов относительно заготовки 2. Электроды 4-7 образуют катоды, в то время как заготовка 2 образует анод. Электроды 4-7 образуют катоды, в то время как заготовка 2 образует анод. Электроды 4-7 могут линейно перемещаться с помощью линейных приводных узлов вдоль осей 8, 9, 10, 11 перемещения, при этом в показанном примере осуществления оси 8-11 перемещения располагаются перпендикулярно друг другу.

В процессе предусмотрен постоянный проходящий вокруг показанной здесь в поперечном сечении заготовки 2 закрытый канал для текучей среды 12 в виде зазора, который в показанном примере осуществления радиально или соответственно снаружи ограничен и уплотнен исключительно моделирующими поверхностями 13, 14, 15, 16 электродов 4-7. Через канал для текучей среды 12 с достаточным давлением перпендикулярно плоскости изображения течет электролит, который служит для электрохимической обработки заготовки 2 и которым одновременно снимаемые продукты выносятся из зазора 12 для текучей среды.

На фиг. 1 показано исходное положение с еще не обработанной заготовкой 2. Видно, как электроды 4-7 сцепляются или соответственно перекрываются по краю друг с другом. Для этого находящиеся друг напротив друга электроды 5 и 7 имеют краевые плоские поверхности 17 или соответственно 18 скольжения, которые с наружной стороны, касаясь и уплотняя, накладываются на соответствующие поверхности 19, 20 скольжения электродов 4 и 6, тоже находящихся друг напротив друга. То есть на соседних электродах имеются взаимодействующие друг с другом поверхности скольжения. Электроды 5 и 7 после того, как они охватывают соответствующие два соседних электрода 4 и 6, имеют в области моделирующей поверхности как бы V-образную геометрию, при этом между поверхностями 17 или соответственно 18 скольжения выполнена непосредственно моделирующая геометрия, которая должна моделировать округлую кромку заготовки 2.

Каждая моделирующая геометрия 13-16 на отдельных участках выполнена так, что в конечном положении она представляет негатив участка поверхности окончательно обработанной заготовки 2, который должен обрабатываться данным электродом 4-7. В случае электродов 4 и 6 эти верхняя и нижняя стороны заготовки 2, которые представляют собой конструктивный элемент лопатки для лопастной машины. В случае электродов 5 и 7 это соответствующие имеющие маленький радиус две кромки заготовки 2.

Как описано, на фиг. 1 показана система 3 электродов в начале непосредственного процесса ЭХО. Электроды 4-7 разведены относительно далеко, степень перекрытия еще не слишком велика. Затем после подключения подачи электролита и подачи тока при первом рабочем режиме, так называемой "генераторной прошивке" при постоянно подаваемом токе и напряжении и линейном пути перестановки электроды 4-7 движутся линейно в направлении осей 8-11 перемещения, то есть в направлении стрелок, и, следовательно, сдвигаются друг с другом. Вследствие подаваемого тока, который может составлять несколько 1000 А, и напряжения в 6-200 В происходит соответственно способу ЭХО сьем материала заготовки на ее поверхности, то есть объем заготовки уменьшается. Соответствующие поверхности формируются находящимися напротив каждой из них участками моделирующих поверхностей 13-17 каждого из электродов 4-7.

Линейное движение перестановки при постоянном токе и постоянном напряжении в первом рабочем режиме (генераторная прошивка) сохраняется до тех пор, пока не будет достигнута определенная глубина погружения, то есть определенное промежуточное положение. Это регистрируется надлежащей измерительной или сенсорной техникой. После этого центральным устройством управления автоматически выполняется переключение во второй рабочий режим, так называемый ПЭХО-режим. В нем ток и напряжение подаются только импульсно с частотой, например, 5-15 Гц. Импульс тока и напряжения подается, когда данный электрод находится в рабочем положении. Когда ток отключается, электрод немного удаляется от заготовки, так что канал для текучей среды 12 раскрывается шире, то есть ширина зазора несколько увеличивается, и через него может лучше протекать электролит. Затем снова подается соответствующий электрод и приводится в рабочее положение, после чего снова подаются ток и напряжение и пр. То есть как в отношении тока и напряжения, так и в отношении позиционирования электродов имеет место прерывистый процесс. При этом можно констатировать, что ширина зазора в первом рабочем режиме, то есть при генераторной прошивке, немного больше, чем во втором рабочем режиме, то есть при режиме ПЭХО. В то время как в первом рабочем режиме ширина зазора составляет приibl. 0,2-0,3 мм, во втором рабочем режиме она составляет, например, 0,05-0,1 мм, когда подаются ток и напряжение,

то есть одновременно осуществляется съём. Во втором рабочем режиме ширина зазора вследствие отвода электродов увеличивается, например, до 0,2-0,3 мм.

То есть осуществляются два различных рабочих режима в течение одного единственного процесса обработки, то есть процесса перестановки из показанного на фиг. 1 исходного положения в показанное на фиг. 2 конечное положение, в котором, см. фиг. 2, электроды 4-7 сильно сведены вместе. Области перекрытия поверхностей 17, 18 и 19, 20 скольжения, следовательно, заметно увеличены по сравнению с исходным положением. Очевидным образом моделирующие поверхности 13-16 дополняют друг друга своими участками поверхности, определяющими конечный контур заготовки 2 после ЭХ-обработки, то есть участками в области верхней и нижней сторон, а также в области обеих кромок, и определяют однозначную моделируемую на заготовке 2 трехмерную конечную геометрию. Эта конечная геометрия после того, как электроды 4-7 во время всего процесса перестановки из исходного положения в соответствии с фиг. 1 в конечное положение в соответствии с фиг. 2 касаются друг друга и уплотняют зазор 12 для текущей среды, по всему периметру заготовка чрезвычайно однородная, так как в каждом месте по периметру заготовки 2 напротив находится моделирующая поверхность соответствующего соседнего электрода и, следовательно, в каждом положении осуществляется съём материала. Этот осуществляющийся в каждом положении съём материала гарантирован во время всего перемещения перестановки независимо от рабочего режима, так что может получаться чрезвычайно однородный съём и вместе с тем также чрезвычайно однородная картина поверхности.

Соответствующие электроды 4-7 распространяются по всей длине подлежащей обработке заготовки, в показанном примере части лопатки лопастной машины. Эта заготовка на переднем и заднем концах ограничена, например, хвостовиком лопатки, а также бандажом, между которыми погружаются электроды 4-7.

На фиг. 3 и 4 показан другой местный вид предлагаемого изобретением ЭХО-устройства 1, при этом для одинаковых конструктивных элементов применяются одинаковые ссылочные обозначения. Здесь предусмотрены только три электрода 4, 5, 6, имеющие соответствующие моделирующие поверхности 13, 14, 15. Как при варианте осуществления в соответствии с фиг. 1 и 2, электрод 5 своими поверхностями 17 скольжения охватывает соответствующие соседние поверхности 19 и 20 скольжения электродов 4 и 6.

При этом варианте осуществления предусмотрен только один моделирующий по кромке электрод 5. На противоположной стороне предусмотрен неподвижный конструктивный элемент 21 канала, к которому скользят и плотно прилегают два электрода 4 и 6, соответствующими здесь имеющими несколько иную форму кромочными участками 22, 23.

Здесь также электроды 4-6 могут придвигаться друг к другу с помощью соответствующих линейных приводных узлов вдоль осей 8, 9, 10 перемещения, они соскальзывают своими поверхностями 17, 19 и 20 скольжения друг по другу, в то время как электроды 4, 6 своими кромочными областями 22, 23 соскальзывают по конструктивному элементу 21 канала. В показанном на фиг. 4 конечном положении степень перекрытия электрода 5 с электродами 4 и 6 снова заметно увеличилась аналогично примеру осуществления в соответствии с фиг. 1 и 2. На противоположной кромочной стороне заготовки 2 кромочные участки 22, 23 электродов 4, 6 прилегают друг к другу. Вследствие геометрии данных моделирующих поверхностей 13, 15 двух электродов 4, 6 в переходе к кромочным участкам 22, 23 даже при этом имеющем только три электрода варианте осуществления можно выполнить кромку заготовки 2 в этой области тоже закругленной соответственно заданной геометрии.

На фиг. 5 на увеличенном местном виде снова показан фрагмент предлагаемого изобретением ЭХО-устройства 1, имеющего станину 24, на которой предусмотрена рабочая камера 25, в которой происходит непосредственная ЭХ-обработка. Показаны в качестве примера четыре электрода 4, 5, 6, 7, а также соответствующие линейные приводные узлы 26-29.

Каждый линейный приводной узел 26-29, из которых ниже описывается только один, так как эти приводные узлы имеют, по существу, одинаковую конструкцию, включает в себя приводной двигатель 30 в виде высокомоментного двигателя 31, включающего в себя приводной шпиндель 32, с которым соединен линейно смещаемый держатель 33 электрода. Этот имеющий наружную резьбу приводной шпиндель вращается с помощью высокомоментного двигателя 31. Шпиндель установлен в неподвижной гайке 34 и связан с держателем 33 электродов. Держатель 33 электродов при вращении шпинделя линейно движется шпинделем 32 в зависимости от направления вращения шпинделя. Таким образом, осуществляется соответствующая подача отдельных электродов 4-7. Эта конструкция, то есть конфигурация показанных линейных приводных узлов 26-29, носит лишь примерный характер. Возможны и другие концепции линейного перемещения, однако общим у них должен быть высокомоментный двигатель 31, который обеспечивает возможность очень быстрого прерывистого процесса управления, необходимого для ПЭХО-режима с более высокой частотой, и который, с другой стороны, допускает также высокопрецизионное позиционирование.

Все линейные приводные узлы 26-29 допускают возможность отдельного активирования, то есть вышестоящее устройство управления отдельно активирует каждый высокомоментный двигатель 31, так что движение электродов может осуществляться оптимальным образом.

В варианте осуществления в соответствии с фиг. 5 линейные приводные узлы 26-29 неподвижны. То есть высокомоментные двигатели 31 стационарны, только шпиндели 32 и держатели 33 электродов установлены с возможностью линейного перемещения. То есть угол между осями перемещения линейных приводных узлов 26-29 постоянен, он составляет, как в качестве примера показано на фиг. 2,  $90^\circ$ .

Чтобы обеспечить возможность варьирования осевого угла, на фиг. 6 показан местный вид устройства 1, у которого отдельные линейные приводные узлы 26-29 могут перемещаться по круговой траектории, как изображено стрелками P1. Для этого, например, предусмотрена круглая направляющая 35, на которую линейные приводные узлы 26-29 оперты через отдельные салазочные конструктивные элементы или тому подобное, которые здесь подробно не показаны. Они могут вращаться вокруг центра Z, который лежит в середине рабочей камеры 25. Это происходит в качестве примера с помощью соответствующего исполнительного или приводного двигателя 36, предпочтительно в виде высокомоментного двигателя или серводвигателя, имеющегося у каждого из показанных там линейных приводных узлов 26-29.

Благодаря этому можно переставлять угол линейных приводных узлов 26-29 друг относительно друга, когда это требуется в целях геометрии заготовки, то есть геометрии сменных электродов.

На фиг. 7 показано, наконец, принципиальное изображение предлагаемого изобретением устройства 1 для выполнения ЭХО-способа. Здесь только в качестве примера показаны два линейных приводных узла 26, 28, два других располагаются ортогонально к ним. Изображены также два предусмотренных электрода 4, 6, а также находящаяся между ними заготовка 2.

Заготовка 2 закреплена или соответственно зажата в держателе 37 заготовки, который захвачен крепежным устройством 38 позиционирующего устройства 39, то есть зажат там. Позиционирующее устройство 39 имеет соответствующий не показанный шпиндель, на котором расположено крепежное устройство 38. С его помощью, как изображено двойной стрелкой P2, можно перемещать заготовку 2 в рабочую камеру 25 и из нее.

При этом возможно, чтобы шпиндель или соответственно крепежное устройство 38 во время перемещения заготовки в рабочее положение и/или во время нахождения заготовки в рабочем положении вращались вокруг своей продольной оси, так чтобы при соответствующем закручивании заготовки 2 она могла продеваться между электродами 4-7.

Для позиционирующего устройства 39 предназначен также магазин 40, а также оптимальное изображенное здесь штриховой линией заменяющее устройство 41. В магазине 40 закреплены несколько подлежащих обработке заготовок 2, которые уже жестко установлены на соответствующих держателях 37 заготовок. Этот магазин 40 может комплектоваться предварительно человеком, обслуживающим устройство 1. При работе, например, заменяющее устройство 41 берет соответствующий держатель 37 следующей подлежащей обработке заготовки и переводит его в позиционирующее устройство 39, которое берет его с помощью крепежного устройства 38, связанного с подробно не показанным шпинделем. В обратном порядке осуществляется процесс замены обработанной заготовки 2 после обработки, она снова извлекается заменяющим устройством 41 позиционирующего устройства 39 и переводится в магазин 40.

Показано также нагнетательно-питающее устройство 42, с помощью которого необходимый для ЭХО-режима электролит в замкнутом циркуляционном контуре подводится к рабочей камере 25 и отводится от нее. Устройство 42 включает в себя надлежащий насос, который предоставляет нужное рабочее давление.

Изображено также энергоснабжение 43, включающее в себя генератор, посредством которого электроды 4-7, которые образуют катоды, а также заготовка 2, которая образует анод, снабжаются нужным рабочим током силой от нескольких 100 до нескольких 1000 А.

Кроме того, показано центральное устройство 44 управления, которое управляет эксплуатацией всех рабочих компонентов предлагаемого изобретением устройства 1, то есть устройства 43 электропитания или соответственно генератора, устройства 42 снабжения электролитом, позиционирующего устройства 39, а также заменяющего устройства 41. Для него предназначены соответствующие сенсорные устройства, которые определяют соответствующие параметры эксплуатации или положения и пр., и на основании которых устройство 44 управления управляет процессом. Измерительные или сенсорные устройства включают в себя соответствующие сенсоры для высокоточной регистрации текущего положения электродов, что необходимо для процесса активирования высокомоментных двигателей 31 в обоих рабочих режимах. Помимо того, с их помощью также осуществляется управление соответствующим позиционированием электродов в рабочем или выдвинутом положениях в процессе ПЭХО и пр. То же самое относится, конечно, к позиционирующему устройству 39, здесь регистрируется соответствующее принятие конечного положения заготовки 2, то есть рабочего положения, а также, конечно, соответствующие позиционирования или окончания процессов в рамках замены частей и пр.

В рабочем процессе ПЭХО необходимо также высокоточное активирование электропитания 43, то есть генератора, так как он работает только импульсно. Частота импульсов генератора 43, а вместе с тем также частота, с которой высокомоментные двигатели 31 вдвигают и выдвигают электроды, лежит в пределах обычно 5-10 Гц, но может быть и выше, например до 15 Гц.

В частности, устройство 44 управления ответственно за то, чтобы переключать рабочий режим

предлагаемого изобретением устройства 1 с первого рабочего режима, в котором при постоянно и обычно постоянно подаваемом токе электроды 407 предпочтительно подаются постоянно, на второй рабочий режим, режим ПЭХО, в котором осуществляется импульсный съем материала. Триггером, который служит для переключения с первого во второй рабочий режим, является регистрация соответствующего положения или промежуточного положения, которое принимают электроды 4-7 и которое указывает, что данным электродом было снято достаточно материала. В первом рабочем режиме осуществляется, таким образом, как бы грубая обработка с относительно высоким съемом материала, в то время как во втором импульсном режиме ПЭХО осуществляется чистовая обработка до конечного контура. Все это в одном единственном устройстве путем переключения рабочих режимов, а также в одном единственном цикле перемещения и за одно единственное зажатие, то есть заготовка 2, несмотря на выполнение двух различных режимов обработки, всегда остается в одном и том же положении, то есть, таким образом, не должна зажиматься снова. Конечно, это относится также к электродам 4-7, которые тоже во время обоих рабочих режимов используются в одинаковом положении без процесса смены.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Устройство для электрохимической обработки металлической заготовки, включающее в себя несколько электродов, имеющих направленную к заготовке моделирующую поверхность и выполненных с возможностью их линейного перемещения из исходного положения в конечное положение с помощью соответствующих линейных приводных узлов относительно заготовки, отличающееся тем, что

предусмотрены по меньшей мере три электрода (4, 5, 6, 7), которые расположены со сдвигом по периметру заготовки (2), которые сконструированы таким образом, чтобы соседние электроды во время всего перемещения перестановки из исходного в конечное положение касались друг друга по краю и перекрывали друг друга отдельными участками, а также своими моделирующими поверхностями (13, 14, 15, 16) ограничивали постоянный непроницаемый для текучей среды канал (12) для текучей среды, проходящий закрытым образом вокруг по периметру заготовки (2),

при этом имеется предусмотренный между двумя электродами (4, 6) электрод (5, 7), содержащий на моделирующей поверхности (14, 16) две поверхности (17, 18) скольжения, посредством которых обеспечивается возможность скольжения электрода (5, 7) по соответствующим наружным поверхностям (19, 20) скольжения двух соседних электродов (4, 6) во время всего перемещения перестановки из исходного в конечное положение, обеспечивая тем самым непроницаемый для текучей среды взаимный контакт электродов.

2. Устройство по п.1, отличающееся тем, что два находящихся друг напротив друга электрода (4, 6) имеют моделирующие поверхности (13, 15), которые моделируют верхнюю и нижнюю стороны заготовки (2), в то время как указанный по меньшей мере один расположенный между ними третий электрод (5) имеет моделирующую поверхность (14), которая предпочтительно моделирует кромочную область заготовки (2).

3. Устройство по одному из предыдущих пунктов, отличающееся тем, что предусмотрен расположенный напротив третьего электрода (5) четвертый электрод (7), который имеет моделирующую поверхность (16), которая предпочтительно тоже моделирует кромочную область заготовки (2).

4. Устройство по п.2 или 3, отличающееся тем, что предназначено для изготовления заготовки (2), представляющей собой конструктивный элемент лопатки лопаточной машины, имеющий участок лопатки, который имеет плоское продолговатое поперечное сечение, при этом первый и второй электроды (4, 6) имеют моделирующие поверхности, которые моделируют плоские верхнюю и нижнюю стороны, а третий и при необходимости четвертый электроды (5, 7) имеют моделирующие поверхности (14, 16), которые моделируют кромочную область, имеющую малый радиус.

5. Устройство по одному из предыдущих пунктов, отличающееся тем, что в случае трех электродов (4, 5, 6) два наружных электрода (4, 6) скользят по ограничивающему канал (12) для текучей среды неподвижному конструктивному элементу (21) канала.

6. Устройство по одному из пп.1-4, отличающееся тем, что в случае четырех электродов (4, 5, 6, 7) два расположенных друг напротив друга электрода (5, 7) охватывают два других электрода (4, 6).

7. Устройство по одному из предыдущих пунктов, отличающееся тем, что оси (8, 9, 10, 11) перемещения линейных приводных узлов (26, 27, 28, 29) двух соседних электродов (4, 5, 6, 7) расположены под углом  $90^\circ$  друг к другу.

8. Устройство по одному из пп.1-6, отличающееся тем, что оси (8, 9, 10, 11) перемещения линейных приводных узлов (26, 27, 28, 29) двух соседних электродов (4, 5, 6, 7) расположены под углом меньше или больше  $90^\circ$  друг к другу.

9. Устройство по одному из предыдущих пунктов, отличающееся тем, что линейные приводные узлы (26, 27, 28, 29) для перестановки угла между осями (8, 9, 10, 11) перемещения двух соседних линейных приводных узлов (26, 27, 28, 29) имеют возможность перемещаться по круговой траектории (35).

10. Устройство по п.9, отличающееся тем, что каждый линейный приводной узел (26, 27, 28, 29) имеет возможность перемещаться по круговой траектории с помощью исполнительного двигателя (31).

11. Устройство по одному из предыдущих пунктов, отличающееся тем, что каждый линейный приводной узел (26, 27, 28, 29) имеет приводимый в действие с помощью приводного двигателя (31) неизменяемый своего положения винтовой шпиндель (32) и перемещаемую по нему гайку (34), которая связана с держателем (33) электрода, или что предусмотрен обладающий возможностью осевого перемещения винтовой шпиндель (32), имеющий связанный с ним держатель (33) электрода.

12. Устройство по п.11, отличающееся тем, что каждый приводной двигатель представляет собой высокомоментный двигатель (31).

13. Устройство по одному из предыдущих пунктов, отличающееся тем, что предусмотрено устройство (44) управления, с помощью которого управление работой устройства (1) возможно таким образом, что электроды (4, 5, 6, 7), начиная от исходного положения, сначала в первом рабочем режиме перемещаются при постоянно подаваемом токе и постоянно подаваемом напряжении в направлении заготовки (2) и по достижении определенного промежуточного положения во втором рабочем режиме перемещаются прерывисто в импульсном режиме поочередно к заготовке (2) и от нее при импульсном напряжении и импульсно подаваемом токе до конечного положения.

14. Устройство по п.13, отличающееся тем, что для каждого электрода (4, 5, 6, 7) предназначено поддерживающее связь с устройством (44) управления сенсорное устройство, с помощью которого обеспечивается возможность регистрировать положение электрода (4, 5, 6, 7), при этом устройство (44) управления управляет работой в зависимости от сенсорной регистрации.

15. Устройство по одному из предыдущих пунктов, отличающееся тем, что предусмотрено позиционирующее устройство (39) для автоматического позиционирования заготовки (2) в рабочем положении в рабочей камере (25).

16. Устройство по п.15, отличающееся тем, что позиционирующее устройство (39) имеет линейно перемещаемый шпиндель, имеющий крепежное устройство для удерживания заготовки (2).

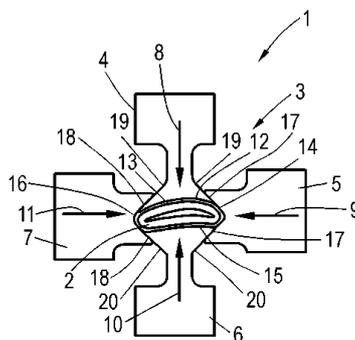
17. Устройство по п.16, отличающееся тем, что шпиндель во время перевода заготовки (2) в рабочее положение и/или во время нахождения заготовки (2) в рабочем положении имеет возможность вращаться вокруг своей продольной оси.

18. Устройство по одному из пп.15-17, отличающееся тем, что предусмотрен предназначенный для позиционирующего устройства (39) магазин (40), в который могут помещаться несколько подлежащих обработке заготовок (2), которые могут автоматически извлекаться с помощью позиционирующего устройства (39) или заменяющего устройства (41).

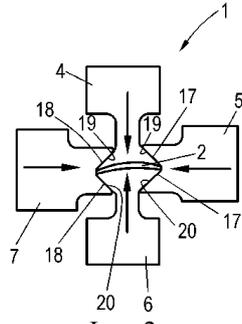
19. Устройство по п.18, отличающееся тем, что каждая заготовка (2) закреплена в отдельном держателе (37) заготовки, который выполнен с возможностью автоматического захвата позиционирующим устройством (39) или заменяющим устройством (41).

20. Способ электрохимической обработки заготовки с применением устройства по одному из предыдущих пунктов, отличающийся тем, что перемещают электроды во время обработки из исходного положения в направлении заготовки в конечное положение и одновременно через радиально ограниченный моделируемыми поверхностями канал для текучей среды между заготовкой и электродами качают текучую среду.

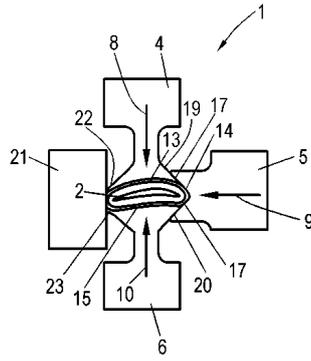
21. Способ по п.20, отличающийся тем, что устройство управления управляет работой устройства таким образом, что электроды, начиная от исходного положения, сначала в первом рабочем режиме при постоянно подаваемом токе и напряжении перемещаются в направлении заготовки и по достижении определенного промежуточного положения во втором рабочем режиме прерывисто в импульсном режиме перемещаются поочередно к заготовке и от нее при импульсно подаваемом токе и напряжении до конечного положения.



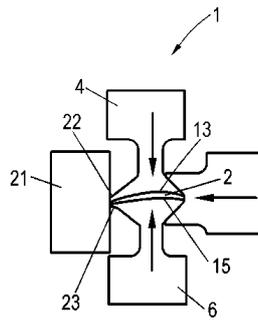
Фиг. 1



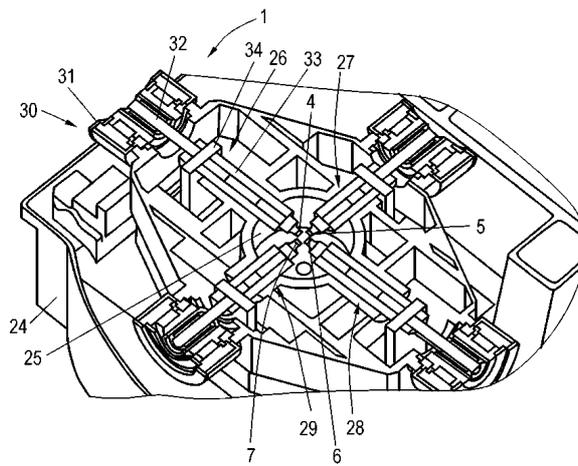
Фиг. 2



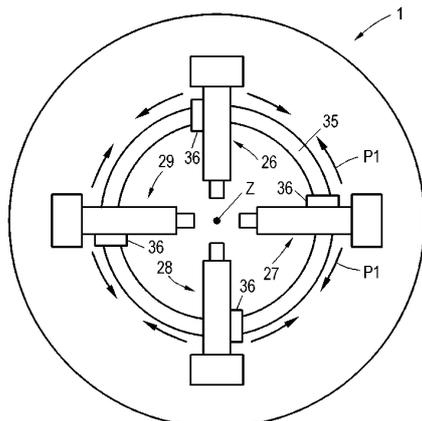
Фиг. 3



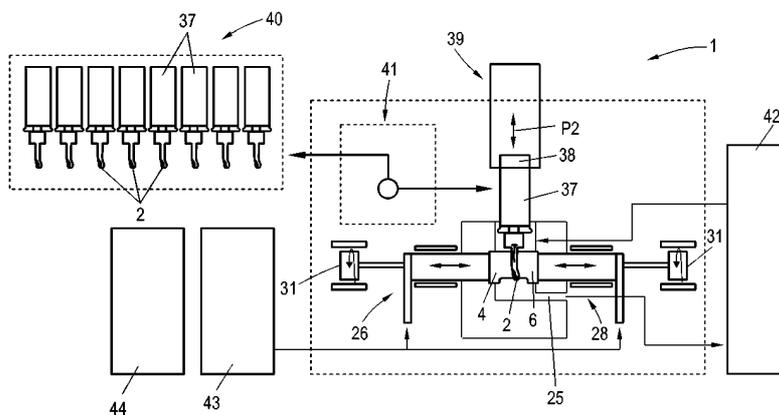
Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7