

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **036410**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2020.11.09**

(21) Номер заявки  
**201890984**

(22) Дата подачи заявки  
**2018.05.16**

(51) Int. Cl. **B23H 3/04** (2006.01)  
**B23H 7/00** (2006.01)  
**B23H 7/26** (2006.01)  
**B23H 9/10** (2006.01)

---

(54) **СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО КОНСТРУКТИВНОГО ЭЛЕМЕНТА, В ЧАСТНОСТИ КОНСТРУКТИВНОГО ЭЛЕМЕНТА ЛОПАТКИ ЛОПАСТНОЙ МАШИНЫ**

---

(31) **102017110735.5**

(32) **2017.05.17**

(33) **DE**

(43) **2018.11.30**

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

(56) DE-A1-102008012596  
DE-A1-102007060071  
SU-A1-1787716  
DE-A1-102011082795  
RU-C2-2389588  
DE-A1-102012201052  
DE-A1-102015102720  
GB-A-952719

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

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

---

(57) В изобретении представлен способ изготовления металлического конструктивного элемента, в частности конструктивного элемента лопатки лопастной машины, который для создания трехмерной формы подвергается электрохимической обработке для съема материала, для чего по меньшей мере один электрод размещается рядом с подлежащим обработке участком конструктивного элемента на расстоянии канального зазора от него, и в присутствии электролита на электрод и конструктивный элемент подается ток и напряжение, и электрод движется из исходного положения в конечное положение в направлении конструктивного элемента, при этом материал снимается в первом рабочем режиме при постоянно подаваемом токе и постоянно подаваемом напряжении, постоянном течении электролита через канальный зазор и постоянном продвижении электрода из исходного положения в направлении конструктивного элемента при сохранении первой ширины зазора, и при этом при достижении предопределенной глубины съема происходит автоматический переход во второй рабочий режим, в котором электрод циклически движется между нерабочим положением и рабочим положением со второй шириной зазора, которая меньше первой ширины зазора, при этом импульс тока и напряжения подается только в рабочем положении, и по меньшей мере в нерабочем положении электролит течет через зазор, при этом второй рабочий режим сохраняется до достижения создаваемой конечной геометрии.

---

**B1**

**036410**

**036410  
B1**

Изобретение касается способа изготовления металлического конструктивного элемента, в частности лопатки лопастной машины, который для создания трехмерной формы подвергается электрохимической обработке для съема материала, для чего по меньшей мере один электрод размещается рядом с подлежащим обработке участком конструктивного элемента на расстоянии канального зазора от него, и в присутствии электролита на электрод и конструктивный элемент подается ток, и электрод движется из исходного положения в конечное положение в направлении конструктивного элемента.

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, такой как, например, лопатка двигателя или тому подобное.

Способ ЭХО представляет собой способ моделирования без снятия стружки. Служащее для этого устройство включает в себя один, чаще всего несколько электродов, которые могут двигаться 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 заготовка 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 канальный зазор, который проходит закрытым образом вокруг заготовки, так что в этом канале может циркулировать, то есть течь, электролит, который забирает и отводит отделенный материал.

Известно, что для обработки металлического конструктивного элемента при постоянно подаваемом токе и постоянно подаваемом напряжении и постоянном течении электролита один или несколько электродов непрерывно движутся из их исходного положения в конечное положение. Происходит непрерывный съем материала, пока не будет достигнут намеченный конечный контур. Этот вид обработки называется "генераторной прошивкой".

Если желательна сверхвысокая точность моделирования и высокое качество поверхности, то сразу после генераторной прошивки следует второй шаг обработки, так называемый "способ ПЭСМ" (ПЭСМ=Precision Electro Chemical Machining, англ. ПЭХО - прецизионная электрохимическая обработка). При этом способе ток и напряжение подаются импульсно с частотой обычно 5-10 Гц, то есть это импульсный способ. Электрод именно с этой частотой переставляется с помощью приводного двигателя между рабочим положением, в котором подается импульс тока, и нерабочим положением, в котором ток и напряжение не подаются и которое удалено несколько дальше от заготовки. Эта перестановка служит для некоторого кратковременного отвода по канальному зазору, более узкому при способе ПЭХО по сравнению с генераторной прошивкой, так чтобы электролит мог лучше вымывать продукты съема. Так как во время непосредственного съема материала электроды находятся еще ближе к заготовке, точность моделирования является еще более прецизионной, и качество поверхности еще лучше.

Если после первой обработки генераторной прошивкой должна происходить ПЭХ-обработка, требуется извлечь уже обработанную заготовку из ЭХО-устройства, выполняющего первый шаг способа, и вставить в устройство, в котором выполняется ПЭХО-способ. Эта смена проблематична постольку, поскольку она, с одной стороны, трудоемка, а с другой стороны, заготовка должна заново зажиматься в ПЭХО-устройстве, что может приводить к минимальным точностям позиционирования и вместе с тем ошибкам моделирования. Далее, во втором ЭХО-устройстве применяются новые электроды.

При этом в основе изобретения лежит проблема указать способ, усовершенствованный по сравнению с ранее известными способами.

Для решения этой проблемы при способе вышеназванного рода в соответствии с изобретением предусмотрено, что материал снимается в первом рабочем режиме при постоянно подаваемом токе и постоянно подаваемом напряжении, постоянном течении электролита через канальный зазор и постоянном продвижении электрода из исходного положения в направлении конструктивного элемента при сохранении первой ширины зазора, и что при достижении predetermined глубины съема происходит автоматический переход во второй рабочий режим, в котором электрод циклически движется между нерабочим положением и рабочим положением со второй шириной зазора, которая меньше первой ширины зазора, при этом импульс тока и напряжения подается только в рабочем положении, и, по меньшей мере, в нерабочем положении электролит течет через зазор, при этом второй рабочий режим сохраняется до достижения создаваемой конечной геометрии.

В соответствии с изобретением предусмотрено выполнение ЭХ-обработки заготовки за один единственный ход в одном единственном ЭХО-устройстве. В соответствии с изобретением два рабочих режима непосредственно следуют друг за другом, то есть во время обработки автоматически происходит переключение из первого во второй рабочий режим. В первом рабочем режиме осуществляется генераторная прошивка, то есть постоянно подается определенный ток и определенное напряжение, а также имеется постоянное течение электролита через канальный зазор, а также указанный или все электроды, начиная от исходного положения, непрерывно движутся в направлении конструктивного элемента. Обработка осуществляется при первой ширине зазора, которая составляет, например, 0,2-0,3 мм. В этом

первом рабочем режиме осуществляется как бы "грубая обработка", она нацелена на достаточно высокий съем материала. Этот первый рабочий режим выполняется до тех пор, пока не будет достигнута предопределенная глубина съема, что соответственно может регистрироваться измерительной техникой. Как только эта предопределенная глубина съема достигнута, автоматически происходит переход во второй рабочий режим, в рамках которого происходит непосредственная "чистовая обработка" по размеру конечного контура. В рамках этого второго рабочего режима осуществляется импульсный процесс, то есть теперь уже работа ведется способом ПЭХО, в то время как в первом рабочем режиме выполняется генераторная прошивка. Во втором рабочем режиме ток и напряжение подаются только импульсно, причем только тогда, когда указанный или все электроды находятся в своем рабочем положении. В зависимости от частоты импульсов, ток и напряжение включаются или отключаются, соответствующим образом осуществляется также движение электрода между рабочим положением при подаваемом токе и напряжении и нерабочим положением при отключенном токе и напряжении. В рабочем положении ширина зазора значительно меньше, чем в первом рабочем режиме, во втором рабочем режиме она составляет от 0,05 до 0,1 мм. Этот импульсный способ выполняется до тех пор, пока не будет достигнут конечный контур, то есть в результате электроды не придут в конечное положение.

Следовательно, в соответствии с изобретением за один единственный зажим инструмента с применением одного и того же электрода полностью автоматизированным образом выполняется двухступенчатый способ ЭХО, при этом при первом рабочем режиме выполняется генераторная прошивка, а после полностью автоматизированного переключения во второй рабочий режим ПЭХ-обработка. Вследствие того обстоятельства, что для выполнения различных рабочих режимов нет необходимости ни в замене, то есть вставлении в другое устройство заготовки, ни в наличии различных электродов для генераторной прошивки и производства ПЭХО, следовательно, с одной стороны, становится возможной быстрая работа, с другой стороны, также высокоточная прецизионная работа, так как допуски или трудности, возникающие при смене одного из компонентов способа, именно в данном случае отсутствуют.

Как уже упомянуто, первая ширина зазора должна составлять от 0,2 до 0,3 мм, а вторая ширина зазора от 0,03 до 0,1 мм.

Постоянно подаваемый ток, а также импульс тока должны составлять от 1500 до 20000 А.

Постоянно подаваемое напряжение и импульс напряжения должны составлять от 6 до 200 В.

Частота перемещения между нерабочим и рабочим положением, а также частота импульсов тока и напряжения должна составлять от 5 до 15 Гц.

Давление электролита, протекающего через каналный зазор, должно составлять от 5 до 20 бар, причем это давление, в частности, во втором рабочем режиме варьируется в зависимости от положения электрода.

Особенно предпочтительно, если электрод как в первом, так и во втором рабочем режиме движется одним и тем же приводным двигателем. То есть со стороны ЭХО-устройства, которое выполнено для того, чтобы осуществлять как первый, так и второй рабочий режим, применяются один и тот же линейный приводной узел, то есть в случае нескольких электродов одни и те же линейные приводные узлы как в первом, так и во втором рабочем режиме. Чтобы реализовать это простым и высокопрецизионным образом, в качестве приводного двигателя предпочтительно применяется высокомоментный двигатель.

Если применяются несколько электродов, то они движутся одновременно относительно конструктивного элемента в первом и втором рабочем режиме, при этом каждый электрод движется посредством отдельного приводного двигателя, предпочтительно высокомоментного двигателя, то есть допускает возможность отдельного управления. Если даже была бы принципиально возможна кинематическая связь двух электродов, целесообразно осуществлять отдельный привод каждого электрода, чтобы можно было реагировать на возможные ситуации в этом способе.

Предпочтительно электроды перекрываются по краю, прилегая друг к другу, и ограничивают проходящий вокруг конструктивного элемента зазор. То есть соседние электроды во время всего перемещения перестановки, независимо от того, в каком рабочем режиме ведется работа, касаются друг друга по краю и охватывают друг друга или соответственно перекрываются, так что они своими моделирующими поверхностями, которые вследствие касания и перекрытия присоединяются друг к другу, ограничивают и уплотняют закрытый каналный зазор, проходящий вокруг заготовки. Причем во время перемещения перестановки электроды, так как они переставляются относительно заготовки с различными направлениями перемещения, изменяют свое относительное положение друг относительно друга, однако они постоянно остаются в контакте, при этом перекрытие во время перемещения перестановки увеличивается, так как электроды вследствие съема материала еще больше приближаются друг к другу. Вследствие этого постоянного касания канал для текучей среды также остается постоянно ограниченным моделирующими поверхностями и плотно закрытым.

В результате вся область заготовки, охваченная моделирующими поверхностями, охвачена постоянно, то есть напротив каждой точки поверхности участка заготовки, охваченного несколькими перекрывающимися друг друга моделирующими поверхностями, во время всей ЭХ-обработки как в первом рабочем режиме, так и во втором рабочем режиме находится моделирующая поверхность. Это, в свою очередь, приводит к тому, что вся область заготовки, охваченная присоединяющимися друг к другу мо-

делирующими поверхностями, 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, причем как в отношении первого, так и второго рабочего режима.

Можно применять по меньшей мере три электрода, при этом два наружных электрода скользят по неподвижному уплотнительному конструктивному элементу, ограничивающему каналный зазор. В этом варианте осуществления изобретения, следовательно, каналный зазор закрывается снаружи моделирующими поверхностями трех касающихся друг друга электродов, а также уплотнительным конструктивным элементом. Во время перемещения перестановки электродов, которые, например, своими осями перемещения располагаются ортогонально друг к другу (то есть два электрода находятся друг напротив друга и движутся друг к другу, в то время как средний электрод движется перпендикулярно им), два наружных электрода соскальзывают по уплотнительному конструктивному элементу, пока не будет достигнуто конечное положение. При изготовлении конструктивного элемента лопатки для лопастной машины (машины, использующей энергию потока), который имеет продолговатую форму поперечного сечения, имеющую выпуклые верхние и нижние стороны, а также кромки, имеющие относительно малый радиус, обработка осуществляется двумя электродами, которые обрабатывают верхнюю и нижнюю сторону, в то время как средний электрод обрабатывает кромку, что при предлагаемом изобретении возможно вследствие перекрытия и вместе с тем образования как бы обширной замкнутой моделирующей поверхности возможно без затруднений. На противоположной второй кромке обработка кромки заготовки осуществляется, например, таким образом, что оба электрода в конечном положении прилегают друг к другу и сдвинуты вместе, то есть что также оттуда осуществляется съём материала и одновременно формирование кромки.

Альтернативно применению такого уплотнительного конструктивного элемента применяются четыре электрода, которые прилегают друг к другу, то есть перекрываются, и которые ограничивают каналный зазор, проходящий вокруг конструктивного элемента. То есть при этом варианте осуществления изобретения предусмотрены четыре отдельно движущихся электрода, оси перемещения которых располагаются, например, ортогонально друг к другу. Два электрода применительно к примеру осуществления конструктивного элемента лопатки образуют верхнюю и нижнюю сторону заготовки, в то время как два других, находящихся друг напротив друга электрода своими специфическими моделирующими поверхностями образуют две кромки лопатки. Все четыре электрода перекрываются, предпочтительно два электрода, образующих кромки, своими моделирующими поверхностями охватывают два электрода, образующих верхнюю и нижнюю сторону. При этом варианте осуществления, следовательно, каналный зазор ограничивается исключительно четырьмя взаимодействующими электродами. Они движутся совместно и синхронно из исходного в конечное положение в двух рабочих режимах.

Чтобы обеспечить постоянное уплотнение канала, требуется, чтобы данное перекрытие электродов было достаточно плотным. Чтобы реализовать это, но одновременно реализовать также точное скольжение электродов друг по другу, на указанном или указанных электродах, охватывая соседние электроды, на стороне моделирующей поверхности выполнены соответствующие поверхности скольжения, которые опираются на соответствующие поверхности скольжения, выполненные на наружной стороне соседнего электрода, и соскальзывают по ним. Тем самым обеспечивается достаточно плотное, однако допускающее скольжение прилегание. Электроды, например, из латуни, так что применяется материал, обладающий хорошими свойствами скольжения.

Даже если предлагаемым изобретением способом предпочтительно изготавливается конструктивный элемент лопатки для лопастной машины, который, наряду с непосредственной лопаточной частью, имеет также хвостовик лопатки и бандаж, при этом лопаточная часть может быть также слегка повернута по своей длине, то есть скручена, конечно, можно изготавливать предлагаемым изобретением способом также конструктивные элементы иной формы.

Наряду с самим способом, изобретение касается также устройства для выполнения способа описанного рода, включающим в себя по меньшей мере один электрод, который посредством приводного двигателя может двигаться относительно конструктивного элемента, подвергающегося электрохимической обработке путем съема материала для создания трехмерной формы, для чего электрод посредством приводного двигателя размещается рядом с подлежащим обработке участком конструктивного элемента на расстоянии каналного зазора от него, и в присутствии электролита на электрод и конструктивный элемент подается ток, при этом управление работой приводного двигателя, генератора тока, а также нагнетающего электролит насосного устройства осуществляется посредством устройства управления. Это устройство отличается тем, что устройство управления выполнено таким образом, что электрод может двигаться в первом рабочем режиме при постоянно подаваемом токе и постоянно подаваемом напряжении и постоянном течении электролита через каналный зазор при постоянном продвижении при сохранении первой ширины зазора в направлении конструктивного элемента, и что электрод при автоматическом переходе во второй рабочий режим при достижении predetermined глубины съема может циклически

ски двигаться между нерабочим положением и рабочим положением со второй шириной зазора, которая меньше первой ширины зазора, при этом только в рабочем положении подается импульс тока и напряжения, и, по меньшей мере, в нерабочем положении электролит течет через зазор, при этом второй рабочий режим сохраняется до достижения создаваемой конечной геометрии.

У этого устройства находит применение центральное устройство управления, которое управляет всеми основными компонентами, которые требуются для производства ЭХО. Устройство управления поддерживает связь по меньшей мере с одним соответствующим сенсорным устройством или измерительным устройством, которое позволяет точно регистрировать глубину съема, чтобы, опираясь на эту информацию, регистрировать момент времени, в который происходит автоматическое переключение из первого рабочего режима во второй рабочий режим. Устройство управления с помощью момента времени переключения управляет всеми релевантными компонентами соответственным, соответствующим второму рабочему режиму образом, так что без какого-либо отставания во времени происходит переход из первого рабочего режима во второй рабочий режим.

Хотя возможно, чтобы был предусмотрен только один электрод, когда заготовка должна обрабатываться только с одной стороны, предпочтительно, чтобы были предусмотрены по меньшей мере три электрода, 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 своими моделирующими поверхностями ограничивают канальный зазор или соответственно канал для текучей среды, проходящий закрытым образом вокруг по периметру заготовки.

Для обеспечения возможности относительного перемещения электродов друг относительно друга при одновременном плотном перекрытии целесообразно снабдить электрод, предусмотренный между двумя электродами, на моделирующей поверхности двумя поверхностями скольжения, которыми он скользит по соответствующим наружным поверхностям скольжения двух соседних электродов.

Предпочтительно с помощью этого устройства изготавливается конструктивный элемент лопатки лопастной машины, который имеет верхнюю и нижнюю сторону, а также две также расположенные друг напротив друга кромки. Причем при обработке такой заготовки возможно, чтобы два находящихся друг напротив друга электрода имели моделирующие поверхности, моделирующие верхнюю и нижнюю сторону заготовки, в то время как указанный по меньшей мере один расположенный между ними третий электрод имел моделирующую поверхность, моделирующую кромочную область заготовки. Например, третий, средний электрод напускается на два наружных, первый и второй электроды. В то время как моделирующая поверхность первого и второго электрода очень обширна, так как они моделируют верхние и нижние стороны, моделирующая поверхность третьего электрода в том участке, в котором он в конечном положении образует кромку, выполнена лишь относительно малой, так как при сдвинутых вместе электродах кромка имеет только очень малый радиус и представляет собой только малую область поверхности заготовки. Рядом к этому участку моделирующей поверхности присоединяются соответствующие поверхности скольжения, которые обеспечивают возможность сдвигания электродов вместе в конечное положение.

Целесообразно, в частности, для изготовления такого конструктивного элемента лопатки, имеющего сложную выпуклую и при необходимости закрученную геометрию, если предусмотрен расположенный напротив третьего электрода четвертый электрод, который тоже имеет моделирующую поверхность, моделирующую кромочную область заготовки. И этот электрод охватывает по краю, например, первый и второй электроды так же, как это делает третий электрод.

То есть в принципе, в соответствии с изобретением, независимо от геометрии заготовки, могут быть предусмотрены три или четыре электрода.

Если, как описывалось, в качестве заготовки изготавливается, то есть обрабатывается конструктивный элемент лопатки лопастной машины, имеющий лопаточный участок, которые имеет плоское, продолговатое поперечное сечение, то первый и второй электроды имеют моделирующие поверхности, моделирующие плоскую верхнюю и нижнюю сторону, в то время как третий и при необходимости четвертый электроды имеют моделирующие поверхности, моделирующие кромочную область, имеющую малый радиус.

И здесь возможно, чтобы при наличии трех электродов два наружных электрода скользили по ограничивающему канал для текучей среды неподвижному уплотнительному конструктивному элементу. В усовершенствование изобретения может быть предусмотрено, чтобы оси перемещения линейных приводных узлов двух соседних электродов находились под углом  $90^\circ$  друг к другу. Таким образом, выбрано прямоугольное расположение осей, то есть, в одном случае, три или четыре электрода движутся перпендикулярно друг другу, когда они передвигаются из исходного в конечное положение. Альтернативно возможно, чтобы оси перемещения линейных приводных узлов двух соседних электродов находились друг к другу также под углом меньше или больше  $90^\circ$ . Это может быть необходимо, в зависимости от вида или геометрии подлежащей обработке заготовки.

Целесообразно, если линейные приводные узлы для перестановки угла между осями перемещения

двух соседних линейных приводных узлов могут двигаться по круговой траектории, при этом предпочтительно каждый линейный приводной узел может двигаться по круговой траектории с помощью исполнительного двигателя. Этот вариант осуществления изобретения позволяет гибко переставлять пространственные направления осей перемещения друг относительно друга, то есть в результате осуществлять промежуточное варьирование угла, так что с помощью одного и того же устройства могут выполняться множество задач обработки, всегда с учетом того, что каждая задача обработки может выполняться с помощью первого и второго рабочих режимов.

Указанный или каждый приводной двигатель предпочтительно представляет собой высокомоментный двигатель, который обеспечивает возможность высокопрецизионного позиционирования электродов и перемещения электродов, что, в частности, особенно предпочтительно для выполнения импульсного режима ПЭХО.

Кроме того, для каждого электрода может быть предусмотрено поддерживающее связь с устройством управления сенсорное устройство, причем это сенсорное устройство предпочтительно предназначено для линейного приводного узла. С помощью этого сенсорного устройства может регистрироваться положение электрода, при этом устройство управления управляет работой в зависимости от сенсорной регистрации.

Кроме того, может быть предусмотрено позиционирующее устройство для автоматического позиционирования заготовки в рабочем положении в рабочей камере. Это позиционирующее устройство может вдвигать заготовку путем чистого линейного перемещения, например вертикально сверху в рабочую камеру и фиксировать во время ЭХ-обработки. Наряду с этим возможно, чтобы заготовка посредством позиционирующего устройства во время приведения заготовки в рабочее положение и/или во время нахождения заготовки в рабочем положении могла вращаться вокруг своей продольной оси. Это дает возможность следовать возможному закручиванию участка лопатки и даже во время обработки производить небольшую угловую перестановку, например, максимум на  $1^\circ$ , когда это целесообразно с технологической точки зрения.

Далее, 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 заменяющего устройства. Это позиционирующее устройство вместе с магазином делает возможным, следовательно, полностью автоматизированный рабочий процесс. Человек, обслуживающий ЭХО-устройство, перед началом работы комплектует магазин количеством подлежащих обработке заготовок. Позиционирующее устройство или предназначенное для него заменяющее устройство автоматически забирает подлежащую обработке заготовку из магазина и передает ее в случае заменяющего устройства позиционирующему устройству, которое затем переводит ее в рабочую камеру. Если само позиционирующее устройство въезжает в магазин, то оно переводит заготовку непосредственно в рабочую камеру. Затем осуществляется ЭХ-обработка, в конце которой позиционирующее устройство снова забирает подлежащую обработке заготовку из рабочей камеры и либо переводит прямо в магазин, либо передает заменяющему устройству, которое затем переводит ее в магазин. Затем берется следующая заготовка и пр. То есть предусмотрен полностью автоматизированный рабочий процесс, при котором оператор в итоге после комплектации магазина должен инициировать начало работы только один раз. Затем все действия происходят полностью автоматизированным образом до конца рабочего цикла, который заканчивается тем, что последняя обработанная заготовка снова будет переведена в магазин.

Чтобы иметь определенный интерфейс для доступа к позиционирующему устройству, то есть заменяющему устройству применительно к заготовке, целесообразно, если каждая заготовка закреплена в держателе заготовки, который может браться позиционирующим устройством или заменяющим устройством. Этот держатель заготовки имеет определенную стыковочную геометрию, с помощью которой он определенным образом может браться заменяющим устройством или позиционирующим устройством.

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

фиг. 1 - блок-схема для пояснения предлагаемого изобретением способа;

фиг. 2 - первая система электродов ЭХО-устройства, имеющая три электрода, в исходном положении;

фиг. 3 - система электродов с фиг. 2 в конечном положении;

фиг. 4 - вторая система электродов ЭХО-устройства, имеющая четыре электрода, в исходном положении;

фиг. 5 - система электродов с фиг. 4 в конечном положении;

фиг. 6 - рассеченный местный вид ЭХО-устройства с изображением электродов и их линейных приводных узлов;

фиг. 7 - принципиальное изображение ЭХО-устройства, имеющего поворотные линейные приводные узлы;

фиг. 8 - принципиальное изображение ЭХО-устройства со всеми компонентами.

На фиг. 1 в виде блок-схемы показаны основные шаги предлагаемого изобретением способа.

В шаге S1 начинается способ, оператор устройства инициирует начало работы. Перед этим оператор уже комплектовал возможно имеющийся магазин, предназначенный для позиционирующего устройства этого устройства, количеством заготовок, подлежащих обработке во всем рабочем цикле.

После начала производства в шаге S2 следует помещение одной из подлежащих обработке заготовок в рабочую камеру. Для этого, например, позиционирующее устройство или заменяющее устройство может извлекать заготовку из магазина и передавать позиционирующему устройству. В каждом случае заготовка помещается из позиционирующего устройства в рабочую камеру данного устройства, в которой происходит ЭХ-обработка.

После помещения заготовки в рабочую камеру и плотного закрытия рабочей камеры осуществляется ЭХ-обработка. В соответствии с шагом S3 сначала осуществляется обработка в первом рабочем режиме. При этом рабочем режиме, так называемой генераторной прошивке, при ширине канального зазора прибл. 0,2-0,3 мм при постоянно подаваемом токе в пределах нескольких 1000 А, постоянно подаваемом напряжении прибл. 6-200 В и постоянном течении электролита производится постоянная подача электродов, то есть электроды движутся при более или менее постоянном продвижении в направлении конструктивного элемента, причем во время этого перемещения осуществляется электрохимический съем материала. Продукты съема выносятся из канального зазора течением электролита.

Во время первого рабочего режима постоянно, см. шаг S4, регистрируется глубина съема, которая на фиг. 1 изображена  $X_{\text{факт.}}$ . Постоянно проверяется, соответствует ли фактическая глубина съема предопределенной глубине  $X_{\text{номин.}}$  съема, достижение которой является моментом времени переключения, в который должно происходить переключение во второй рабочий режим. Для регистрации глубины съема предусмотрено надлежащее измерительное или сенсорное устройство, или соответственно несколько таких устройств, с помощью которых, например, может точно регистрироваться положение электрода, откуда может определяться, сколько материала снято или соответственно насколько велика глубина съема, исходя из исходного положения электрода (электродов).

Если получается, что  $X_{\text{факт.}} \neq X_{\text{номин.}}$ , то продолжается первый рабочий режим в соответствии с шагом S3.

Но если получается, что  $X_{\text{факт.}} = X_{\text{номин.}}$ , то устройством управления, управляющим работой ЭХО-устройства, сразу же осуществляется переключение во второй рабочий режим в соответствии с шагом S5. В этом втором рабочем режиме осуществляется импульсный ЭХО-процесс. Ток, здесь также в пределах нескольких 1000 А, и напряжение, в пределах 6-200 В, подается только лишь импульсно, частота импульсов лежит в пределах от 5 до 15 Гц. С соответствующей частотой указанный или указанные электроды переставляются с помощью соответствующего приводного двигателя линейных приводных узлов, двигающих электроды, предпочтительно высокомоментным двигателем, между рабочим положением при подаваемом импульсе тока и нерабочем положении при отсутствующем токе. Ширина канального зазора в рабочем положении заметно меньше, чем в первом рабочем режиме, теперь она лежит только лишь в пределах от 0,03 до 0,1 мм. При этом импульсном режиме может получаться высокопрецизионное моделирование и замечательное качество поверхности обработанной заготовки.

Во втором рабочем режиме также в соответствии с шагом S6 осуществляется постоянная регистрация глубины  $X_{\text{факт.}}$  съема. Она, в свою очередь, сравнивается с некоторой сравнительной глубиной, здесь конечной глубиной  $X_{\text{кон.}}$ , которая одновременно означает достижение конечного положения подачи электродов. И эта постоянная регистрация положения, в свою очередь, осуществляется, в свою очередь, устройством управления и с помощью измерительных или сенсорных устройств, которые уже в первом рабочем режиме произвели регистрацию положения.

Если получается, что  $X_{\text{факт.}} \neq X_{\text{кон.}}$ , то постоянно продолжается второй рабочий режим в соответствии с шагом S5.

Если получается, что  $X_{\text{факт.}} = X_{\text{кон.}}$ , то весь ЭХО-процесс заканчивается. В соответствии с шагом S7 осуществляется извлечение обработанной заготовки из рабочей камеры посредством позиционирующего устройства, причем тогда заготовка с помощью позиционирующего устройства или с помощью заменяющего устройства снова переводится в магазин.

Затем в шаге S8 проверяется, закончен ли весь способ, то есть цикл с обработкой последней заготовки. Если получается, что это так, то в соответствии с шагом S9 процесс работы полностью заканчивается. В ином случае программа снова возвращается к шагу S2, то есть с помощью позиционирующего устройства или заменяющего устройства берется и помещается новая заготовка, после чего следуют дальнейшие шаги.

На фиг. 2 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 двигаться 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 двигаться с помощью линейных приводных узлов вдоль осей 8, 9, 10, 11 перемещения, при этом в показанном примере осуществления оси 8-11 пе-

ремещения 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, то есть 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. 2 показано исходное положение с еще не обработанной заготовкой 2. Видно, как электроды 4-7 сцепляются, то есть 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 собой негатив участка поверхности окончательно обработанной заготовки 2, который должен обрабатываться данным электродом 4-7. В случае электродов 4 и 6 это верхняя и нижняя сторона заготовки 2, которая представляет 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. 2 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 и напряжения 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, которое может составлять от 6 до 200 В, происходит соответственно способу ЭХО, съем 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 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 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 подается ток и пр. То есть как в отношении тока, 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 прибл. 0,2-0,3 мм, во втором рабочем режиме она составляет, например, 0,05-0,1 мм, когда подается ток, то есть одновременно осуществляется съем. 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. 2 исходного положения в показанное на фиг. 3 конечное положение, в котором, см. фиг. 3, 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 стороны, 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. 2 в конечное положение в соответствии с фиг. 2 касаются друг друга и уплотняют зазор 12 для текучей среды, по всему периметру заготовки 2 чрезвычайно гомогенная, так как в каждом месте по периметру заготовки 2 напротив находится моделирующая поверхность соответствующего соседнего электрода и, следовательно, в каждом положении осуществляется съем материала. Этот осуществляю-



щийся в каждом положении съем материала гарантирован во время всего перемещения перестановки, независимо от рабочего режима, так что может получаться чрезвычайно однородный съем 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 конце ограничена, например, хвостовиком лопатки, а также бандажом, между которыми погружаются электроды 4-7.

На фиг. 4 и 5 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. 2 и 3, 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. 5 конечном положении степень перекрытия электрода 5 с электродами 4 и 6 снова заметно увеличилась аналогично примеру осуществления в соответствии с фиг. 2 и 3. На противоположной кромочной стороне заготовки 2 кромочных участков 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. 4 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, 27, 28, 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 32 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. 6 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°.

Чтобы обеспечить возможность варьирования осевого угла, на фиг. 7 показан местный вид устройства 1, у которого отдельные линейные приводные узлы 26-29 могут двигаться по круговой траектории, как изображено стрелками P1. Для этого, например, предусмотрена круглая направляющая 35, на которую линейные приводные узлы 26-29 опираются 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. 8 показано, наконец, принципиальное изображение предлагаемого изобретением устройст-

ва 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 двигать заготовку 2 в рабочую камеру 25 и из нее.

При этом возможно, чтобы шпиндель, то есть 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, то есть 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 высокопрецизионное 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 изготовления металлического конструктивного элемента, включающее в себя по меньшей мере один электрод, который посредством приводного двигателя имеет возможность перемещения относительно конструктивного элемента, подвергающегося электрохимической обработке для создания трехмерной формы путем съема материала, для чего электрод посредством приводного двигателя размещается рядом с подлежащим обработке участком конструктивного элемента на расстоянии канального зазора от него, и в присутствии электролита на электрод и конструктивный элемент подается ток и напряжение, при этом управление работой приводного двигателя, генератора тока, а также нагнетающего электролит насосного устройства осуществляется посредством устройства управления, отличающееся тем, что устройство управления для управления приводным двигателем для перемещения электрода выполнено таким образом, что

электрод имеет возможность перемещаться в первом рабочем режиме при постоянно подаваемом постоянном токе и постоянно подаваемом постоянном напряжении и постоянном течении электролита через канальный зазор с постоянной подачей с сохранением первой ширины зазора в направлении конструктивного элемента, и что

электрод при автоматическом переходе во второй рабочий режим при достижении predetermined глубины съема имеет возможность циклически перемещаться между нерабочим положением и рабочим положением со второй шириной зазора, которая меньше первой ширины зазора, при этом только в рабочем положении подается импульс тока и напряжения, причем в рабочем положении и в нерабочем положении электролит течет через зазор, при этом второй рабочий режим сохраняется до достижения получаемой конечной геометрии.

2. Устройство по п.1, отличающееся тем, что предусмотрены по меньшей мере три электрода (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 своими моделирующими поверхностями (13, 14, 15, 16) ограничивают канальный зазор (12), проходящий закрытым образом вокруг по периметру заготовки.

3. Устройство по п.2, отличающееся тем, что предусмотренный между двумя электродами (4, 6) электрод (5, 7) на моделирующей поверхности (14, 16) имеет две поверхности (17, 18) скольжения, которыми он скользит по соответствующим наружным поверхностям (19, 20) скольжения двух соседних электродов (4, 6).

4. Устройство по п.2 или 3, отличающееся тем, что два находящихся друг напротив друга электрода (4, 6) имеют моделирующие поверхности (13, 15), которые моделируют верхнюю и нижнюю сторону заготовки (2), в то время как указанный по меньшей мере один расположенный между ними третий электрод (5) имеет моделирующую поверхность (14), которая моделирует кромочную область заготовки (2).

5. Устройство по п.4, отличающееся тем, что предусмотрен расположенный напротив третьего электрода (5) четвертый электрод (7), который тоже имеет моделирующую поверхность (16), которая моделирует кромочную область заготовки (2).

6. Устройство по одному из пп.2-5, отличающееся тем, что при наличии трех электродов (4, 5, 6) два наружных электрода (4, 6) скользят по ограничивающему канал (12) для текучей среды неподвижному уплотнительному конструктивному элементу (21).

7. Устройство по одному из пп.2-5, отличающееся тем, что при наличии четырех электродов (4, 5, 6, 7) два находящихся друг напротив друга электрода (5, 7) охватывают два других электрода (4, 6).

8. Устройство по одному из пп.2-7, отличающееся тем, что оси (8, 9, 10, 11) перемещения линейных приводных узлов (26, 27, 28, 29) двух соседних электродов (4, 5, 6, 7) находятся под углом  $90^\circ$  друг к другу или что оси (8, 9, 10, 11) перемещения линейных приводных узлов (26, 27, 28, 29) двух соседних электродов (4, 5, 6, 7) находятся под углом меньше или больше  $90^\circ$  друг к другу.

9. Устройство по одному из пп.2-8, 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 перемещения по круговой траектории (35), при этом предпочтительно каждый линейный приводной узел (26, 27, 28, 29) имеет возможность перемещения по круговой траектории с помощью исполнительного двигателя (31).

10. Устройство по одному из пп.1-9, отличающееся тем, что указанный или каждый приводной двигатель представляет собой высокомоментный двигатель (31).

11. Устройство по одному из пп.2-10, отличающееся тем, что для каждого электрода (4, 5, 6, 7) предназначено поддерживающее связь с устройством (44) управления сенсорное устройство, посредством которого регистрируется положение электрода (4, 5, 6, 7), при этом устройство (44) управления управляет работой в зависимости от сенсорной регистрации.

12. Устройство по одному из пп.1-11, отличающееся тем, что предусмотрено позиционирующее устройство (39) для автоматического позиционирования заготовки (2) в рабочем положении в рабочей камере (25).

13. Устройство по п.12, отличающееся тем, что заготовка имеет возможность вращаться вокруг своей продольной оси посредством позиционирующего устройства во время приведения заготовки (2) в рабочее положение и/или во время нахождения заготовки (2) в рабочем положении.

14. Устройство по п.12 или 13, 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).

15. Устройство по п.14, отличающееся тем, что каждая заготовка (2) закреплена в держателе (37) заготовки, который выполнен с возможностью его захвата позиционирующим устройством (39) или заменяющим устройством (41).

16. Способ работы устройства для изготовления металлического конструктивного элемента по одному из пп.1-15, который для создания трехмерной формы подвергают электрохимической обработке для съема материала, для чего по меньшей мере один электрод размещают рядом с подлежащим обработке участком конструктивного элемента на расстоянии канального зазора от него, и в присутствии электролита на электрод и конструктивный элемент подают ток и напряжение, и электрод перемещают из исходного положения в конечное положение в направлении конструктивного элемента, отличающийся тем, что

материал снимают в первом рабочем режиме при постоянно подаваемом постоянном токе и постоянно подаваемом постоянном напряжении, постоянном течении электролита через канальный зазор и постоянном продвижении электрода из исходного положения в направлении конструктивного элемента при сохранении первой ширины зазора, и что

при достижении predetermined глубины съема осуществляют автоматический переход во второй рабочий режим, в котором электрод циклически перемещают между нерабочим положением и рабочим положением со второй шириной зазора, которая меньше первой ширины зазора, при этом импульс тока и напряжения подают только в рабочем положении, причем в рабочем положении и нерабочем положении электролит течет через зазор, при этом второй рабочий режим сохраняют до достижения создаваемой конечной геометрии.

17. Способ по п.16, отличающийся тем, что первая ширина зазора составляет от 0,2 до 0,3 мм, а вторая ширина зазора от 0,03 до 0,1 мм.

18. Способ по п.16 или 17, отличающийся тем, что постоянно подаваемый постоянный ток и импульс тока составляет от 1500 до 20000 А.

19. Способ по одному из пп.16-18, отличающийся тем, что постоянно подаваемое постоянное напряжение и импульс напряжения составляет от 6 до 200 В.

20. Способ по одному из пп.16-19, отличающийся тем, что частота перемещения между нерабочим и рабочим положением, а также частота импульсов тока составляет от 5 до 15 Гц.

21. Способ по одному из пп.16-20, отличающийся тем, что давление электролита, протекающего через канальный зазор, составляет от 5 до 20 бар.

22. Способ по одному из пп.16-21, отличающийся тем, что электрод перемещают как в первом, так и во втором рабочем режиме одним и тем же приводным двигателем.

23. Способ по п.22, отличающийся тем, что в качестве приводного двигателя используют высокомоментный двигатель.

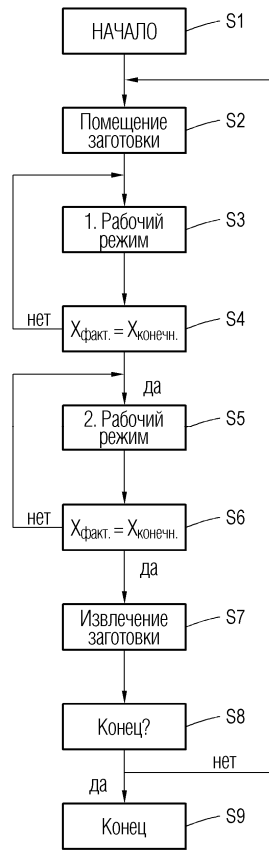
24. Способ по одному из пп.16-23, отличающийся тем, что в первом и во втором рабочем режиме относительно конструктивного элемента одновременно перемещают несколько электродов, при этом каждый электрод перемещается посредством отдельного приводного двигателя.

25. Способ по п.24, отличающийся тем, что электроды, прилегая друг к другу, перекрываются по краю и вместе ограничивают зазор.

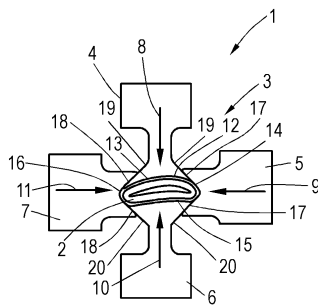
26. Способ по п.25, отличающийся тем, что применяют по меньшей мере три электрода, при этом два наружных электрода скользят по неподвижному, ограничивающему канальный зазор уплотнительному конструктивному элементу.

27. Способ по п.25, отличающийся тем, что применяют четыре электрода, которые ограничивают канальный зазор, проходящий вокруг конструктивного элемента.

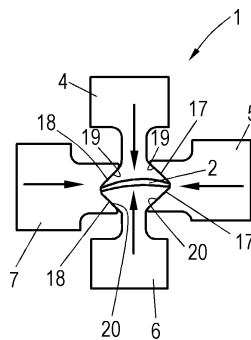
28. Способ по одному из пп.16-27, отличающийся тем, что изготавливают конструктивный элемент лопатки лопастной машины.



Фиг. 1

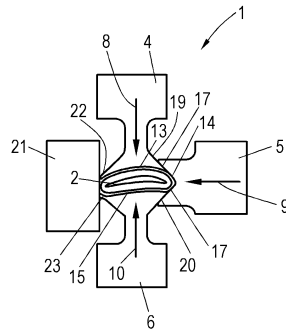


Фиг. 2

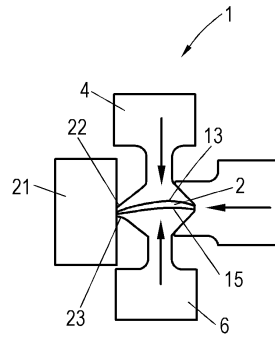


Фиг. 3

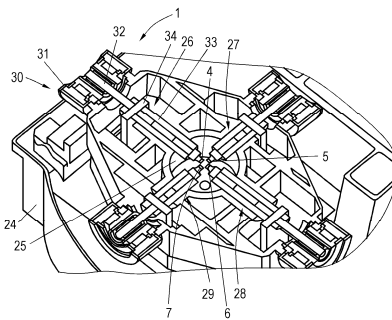
036410



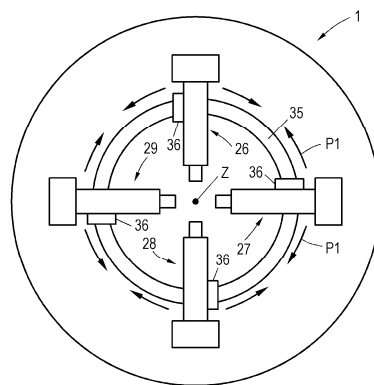
Фиг. 4



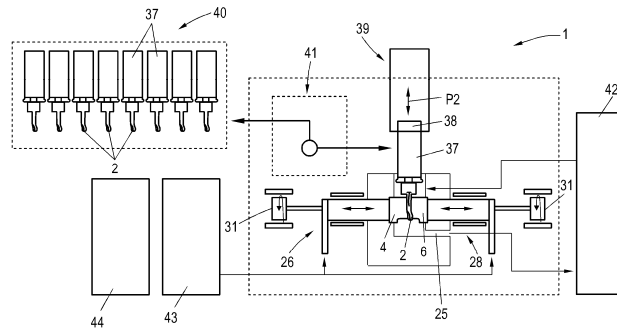
Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7



Фиг. 8

