

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2010120763/02, 25.05.2010

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
25.05.2010

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:  
26.05.2009 US 12/471,683

(43) Дата публикации заявки: 27.11.2011 Бюл. № 33

(45) Опубликовано: 20.12.2014 Бюл. № 35

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: US 2003024825 A1, 06.02.2003. SU  
1712083 A1, 15.02.1992. US 2815435 A,  
03.12.1957. US 2818491 A, 31.12.1957. US  
5115112 A, 19.05.1992. JPH 1043852 A,  
17.02.1998

Адрес для переписки:

191036, Санкт-Петербург, а/я 24, "НЕВИНПАТ",  
пат.п.в. А.В.Поликарпову

(72) Автор(ы):

ЛУО,Юэфенг (US),  
АДИС,Уилльям Эдвард (US)

(73) Патентообладатель(и):

Дженерал Электрик Компани (US)

C2  
2535820  
RU

## (54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ

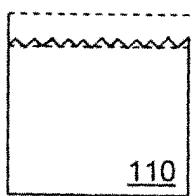
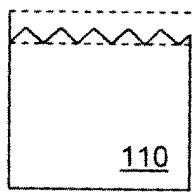
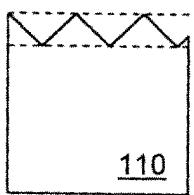
(57) Реферат:

Изобретение относится к электроимпульсной обработке. Устройство содержит дисковый нож, двигатель, соединенный с указанным ножом с обеспечением его вращения, систему управления электрическим разрядом, функционально соединенную с дисковым ножом и заготовкой и обеспечивающую резание заготовки вращающимся дисковым ножом в ходе электроимпульсной обработки. Для присоединения дискового ножа к двигателю оно содержит приводной шпиндель, имеющий отверстие с наклонной поверхностью, при этом электрический контактор, электрически подключенный к системе управления электрическим разрядом, имеет внешнюю поверхность, сопряженную с указанной наклонной поверхностью. Устройство позволяет осуществлять вращение дискового ножа с одновременной подачей к нему электрического тока, но при самой низкой возможной скорости,

обуславливающей минимальный износ контактора, при этом оно обеспечивает возможность удаления крупных фрагментов материала с помощью электроимпульсной обработки при минимизации количества резов, времени и энергии, необходимых для изготовления детали. 8 з.п. ф-лы, 20 ил.

R  
U  
2  
5  
3  
5  
8  
2  
0  
C  
2

R U 2 5 3 5 8 2 0 C 2



ФИГ.7

R U 2 5 3 5 8 2 0 C 2

FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

## (12) ABSTRACT OF INVENTION

(21)(22) Application: 2010120763/02, 25.05.2010

(24) Effective date for property rights:  
25.05.2010

Priority:

(30) Convention priority:  
26.05.2009 US 12/471,683

(43) Application published: 27.11.2011 Bull. № 33

(45) Date of publication: 20.12.2014 Bull. № 35

Mail address:

191036, Sankt-Peterburg, a/ja 24, "NEVNPAT",  
pat.pov. A.V.Polikarpovu

(72) Inventor(s):

LUO,Juehfeng (US),  
ADIS,Uill'jam Ehdvard (US)

(73) Proprietor(s):

Dzheneral Ehlektrik Kompani (US)

R U  
2 5 3 5 8 2 0 C 2R U  
2 5 3 5 8 2 0 C 2

## (54) DEVICE FOR ELECTRIC PULSE MACHINING

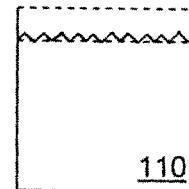
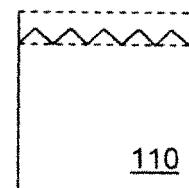
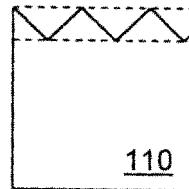
(57) Abstract:

FIELD: electricity.

SUBSTANCE: invention is related to electric pulse machining. The device comprises a circular knife, a motor connected with the above knife by its rotation, electric discharge control system, which is coupled functionally to the circular knife and a blank part and provides cutting of a blank part by the circular knife in process of electric pulse machining. For the purpose of the circular knife connection to the motor the device comprises a driving spindle with an opening and inclined surface, at that the electric contactor coupled electrically to the electric discharge control system has outer surface coupled to the above inclined surface.

EFFECT: device allows rotation of the circular knife with simultaneous power supply to it at the lowest permitted speed that stipulates minimum wear and tear of the contactor, at that it provides removal of large-size fragments of material by electric pulse machining with minimum quantity of cuts, consumed time and power for manufacturing of a part.

9 cl, 20 dwg



ФИГ.7

## ПРЕДПОСЫЛКИ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0001] Изобретение относится в целом к электроимпульсной обработке. Более конкретно, изобретение относится к устройству для электроимпульсной обработки, в котором применяется вращающийся дисковый нож.

- 5 [0002] Механическая обработка труднообрабатываемых металлов или сплавов, таких как никелевые сплавы высокого сопротивления (например, Инконель), в настоящее время представляет проблему для производителей. Эти металлы трудно поддаются обычной обработке, поскольку обладают большей твердостью и жесткостью по сравнению с другими сплавами. К нестандартным подходам относятся лазерная  
10 обработка, электрохимическая обработка, а также электроимпульсная обработка, причем некоторые из них являются относительно низкоскоростными, требуют большого количества энергии и вызывают другие проблемы. Для изготовления разнообразных конструкций из указанных материалов в небольших объемах применяется  
15 электроимпульсное фрезерование выемок сложной формы. Обычно электроимпульсное фрезерование выемок включает размещение заготовки в баке с текучей средой, такой как углеводородное масло. Электрод-инструмент, форма которого является зеркальным отражением необходимой формы заготовки, при помощи толкателя приводят в непосредственную близость с заготовкой, а затем через зазор между указанным  
20 электродом и заготовкой пропускают периодически повторяющиеся электрические импульсы, вызывающие электрические разряды, которые обеспечивают точное удаление материала с заготовки. Электроимпульсное фрезерование выемок обеспечивает возможность обработки труднообрабатываемых металлов или сплавов без применения высокого режущего усилия и твердых инструментов, что делает процесс экономически выгодным и менее затратным по сравнению с обычными способами обработки.  
25 Несмотря на то что электроимпульсное фрезерование выемок имеет определенные преимущества при обработке указанных сплавов, ряд имеющихся на сегодняшний день недостатков ограничивают его использование.

- [0003] В некоторых других подходах, основанных на электроимпульсной обработке, применяют инструмент с вращающейся рабочей поверхностью. Одна из проблем, 30 связанных с использованием любого подхода на основе электроимпульсной обработки, заключается в том, что материал удаляется в виде частиц, что очень замедляет процессы. Кроме того, применяют электроимпульсную обработку на вырезном станке, но при этом невозможно создавать некоторые сложные элементы трехмерной формы, такие как вогнутые формы аэродинамического профиля. Для предотвращения повреждения 35 проволоки ограничивают подвод энергии к проволочному электроду, что ограничивает скорость резки до неудовлетворительных значений.

## КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

- [0004] В первом аспекте изобретения предложено устройство для электроимпульсной обработки, содержащее дисковый нож, двигатель, соединенный с указанным ножом с 40 обеспечением его вращения, и систему управления электрическим разрядом, функционально соединенную с дисковым ножом и заготовкой и обеспечивающую резание заготовки вращающимся дисковым ножом в ходе электроимпульсной обработки.

- [0005] Во втором аспекте изобретения предложено устройство для электроимпульсной обработки, содержащее дисковый нож, являющийся по существу плоским и имеющий 45 внешнюю периферическую кромку, двигатель, соединенный с указанным ножом с обеспечением его вращения, и систему управления электрическим разрядом, функционально соединенную с дисковым ножом и заготовкой и обеспечивающую

резание заготовки внешней периферической кромкой вращающегося дискового ножа в ходе электроимпульсной обработки, а также универсальную систему перемещения, предназначенную для трехмерного перемещения дискового ножа или заготовки относительно другого из них.

## 5 КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

[0006] Фиг.1 изображает принципиальную схему устройства для электроимпульсной обработки, в котором применяется дисковый нож, в соответствии с вариантами выполнения изобретения.

[0007] Фиг.2 изображает вид спереди и вид сбоку дискового ножа в соответствии с 10 одним вариантом выполнения изобретения.

[0008] Фиг.3А изображает вид спереди и вид сбоку дискового ножа в соответствии со вторым вариантом выполнения изобретения.

[0009] Фиг.3В изображает вид спереди и вид сбоку дискового ножа в соответствии с альтернативным вторым вариантом выполнения изобретения.

15 [0010] Фиг.4 изображает вид спереди и вид сбоку дискового ножа в соответствии с третьим вариантом выполнения изобретения.

[ООН] Фиг.5А и 5В изображают вид в аксонометрии заготовки, обрабатываемой с помощью различных вариантов выполнения дискового ножа.

20 [0012] Фиг.6-15 иллюстрируют различные варианты применения предложенного устройства для электроимпульсной обработки.

## ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0013] На фиг.1 изображена принципиальная схема устройства 100 для электроимпульсной обработки в соответствии с вариантами выполнения изобретения. Указанное устройство 100 содержит дисковый нож 102, двигатель 104, соединенный с 25 указанным ножом с обеспечением его вращения, и систему 106 управления электрическим разрядом, функционально соединенную с ножом 102 и заготовкой 110. Заготовка 110 может представлять собой любую необработанную деталь, которой необходимо придать форму готового изделия. Например, заготовка 110 может содержать сплав на основе никеля. Как описано ниже в данном документе, система 106 управления 30 электрическим разрядом обеспечивает резание заготовки 110 вращающимся ножом 102 в ходе процесса электроимпульсной обработки, например, многократных электрических разрядов, происходящих в межэлектродном пространстве, образованном между дисковым ножом 102 и заготовкой 110. Более подробно, двигатель 104 обеспечивает вращение ножа 102 с высокой скоростью, например, превышающей 35 приблизительно 400 об/мин. В то же самое время система 106 управления электрическим разрядом приводит к возникновению в дисковом ноже 102 электрического напряжения/тока, имеющего отрицательную полярность, и возникновению в заготовке 110 электрического напряжения/тока, имеющего положительную полярность. Такая 40 настройка полярности во взаимодействии со смазочно-охлаждающей текучей средой 142 (описана ниже в данном документе) приводит к возникновению коротких разрядных импульсов длительностью менее 3 мкс. Кроме того, система 106 может менять указанную настройку полярности, а именно нож 102 может быть подключен в положительной полярности, а заготовка 110 - в отрицательной полярности, для приведения в 45 соответствие масляного диэлектрика и длинных разрядных импульсов длительностью более 3 мкс. При вращении ножа 102 в пропиле или пазу 112, образованном ножом 102, возникают электрические разряды, которые могут удалить материал с заготовки 110. То есть нож 102 выполняет рез в виде пропила 112. Следует отметить, что пропил 112 изображен после удаления V-образной части 120 материала, полученной в результате

выполнения двух сходящихся пропилов. В данном случае происходит образование фрагмента материала, то есть V-образной части 120 материала, а не разделение заготовки 110, как в процессе обычного процесса резания. Нож 102 представляет собой проводящий электрод с гладкой периферией. Удаление материала происходит во время 5 многократных электрических разрядов при высокой температуре, так что механическое резание не выполняется.

[0014] Кроме того, устройство 100 для электроимпульсной обработки может содержать универсальную систему 130 перемещения, предназначенную для перемещения дискового ножа 102 относительно заготовки 110 в трехмерном пространстве, и/или

10 универсальную систему 132 перемещения, предназначенную для перемещения заготовки 110 относительно вращающегося ножа 102 в трехмерном пространстве. В дополнение к поступательному перемещению заготовка 110 под управлением указанной системы 130 может поворачиваться вокруг определенного направления или оси. Система 130 также может наклонять нож 102 под изменяющимся углом относительно поверхности 15 заготовки 110 для выполнения наклонного пропила в заготовке 110. Два встречных наклонных реза обеспечивают удаление V-образной части 120 материала, как изображено на фиг.1. При перемещении ножа 102 вдоль оси у он также может поворачиваться вокруг указанной оси для выполнения наклона к поверхности заготовки 110. Кроме того, до выполнения наклона к поверхности заготовки 110 держатель 150 20 ножа может поворачиваться вокруг оси z, что обеспечивает возможность перемещения заготовки 110 в плоскости x-y вдоль направления, параллельного вращающемуся ножу 102. Универсальная система (системы) 130, 132 перемещения может содержать любые известные на сегодняшний день или разработанные в дальнейшем системы с числовым 25 программным управлением (ЧПУ), в состав которых входят необходимые двигатели, датчики, робототехника, аппаратное/программное обеспечение и т.п. и которые предназначены для перемещения и поворота дискового ножа 102 и/или заготовки 110 в трех и более измерениях, то есть выполняется управление перемещением по четырем и более осям, что обеспечивает возможность получения различных резов.

[0015] В процессе эксплуатации дисковый нож 102 стачивается. Для предотвращения

30 уменьшения глубины резания вследствие износа ножа может быть выполнен датчик 136 износа, предназначенный для определения степени износа дискового ножа. Износ ножа может происходить в виде уменьшения его диаметра до неудовлетворительного размера или в виде иных дефектов, например повреждения периферии и т.д. Датчик 136 износа может представлять собой любой неконтактный датчик, например лазерный, 35 инфракрасный, индукционный, контактный и т.д. Датчик 136 может быть электрически подключен к универсальной системе (системам) 130, 132 перемещения, так что перемещение ножа и/или заготовки 110 может регулироваться с обеспечением корректировки износа ножа 102. Аналогичным образом датчик 136 износа может быть 40 электрически подключен к системе 106 управления электрическим разрядом, так что напряжение/ток, подаваемые к ножу 102, могут регулироваться с обеспечением корректировки износа ножа 102. Например, для смещения глубины резания, которая в ином случае была бы уменьшенной, может выполняться более глубокое проникновение ножа 102 в заготовку 110.

[0016] Устройство 100 также содержит гидравлическое сопло (сопла) 140,

45 предназначеннное для подачи смазочно-охлаждающей текучей среды 142, например углеводородного масла или водной диэлектрической текучей среды, к границе раздела между вращающимся ножом 102 и заготовкой 110. Как известно в данной области техники, смазочно-охлаждающая текучая среда 142 помимо прочего удаляет частицы

материала, снятого с заготовки 110, охлаждает заготовку 110 и нож 102, а также обеспечивает содействие материалу в создании соответствующей окружающей среды, например высокотемпературной плазмы, для электроимпульсной обработки. Для подачи среды 142 к соплу (соплам) 140 может использоваться любая соответствующая 5 система нагнетания. Текущая среда 142 может собираться в столе для крепления заготовок и в баке (не показан) под заготовкой 110 для повторного использования. Использованная текущая среда фильтруется для удаления из нее микрочастиц и деионизируется в случае, если она содержит водный диэлектрик.

[0017] Как изображено на фиг.1 и 2, в одном варианте выполнения нож 102 является 10 по существу плоским, и заготовка 110 режется внешней периферической кромкой 146 указанного ножа. На фиг.2 изображены вид спереди (левое изображение) и вид сбоку (правое изображение) ножа 102. На фиг.3А и 3В изображены вид спереди (левое изображение) и вид сбоку (среднее изображение) другого варианта выполнения дискового ножа 202. В данном варианте выполнения дисковый нож 202 имеет 15 углубленную область 250, выполненную на его передней поверхности 252. Указанная область 250 имеет первую толщину T1 (среднее изображение на фиг.3А и 3 В). Внешняя периферическая кромка 146 имеет радиальную протяженность R1 (левое изображение на фиг.3А и 3 В) и вторую толщину T2 (среднее изображение на фиг.3А и 3В), которая превышает первую толщину T1, в результате чего образуется углубленная область 250. 20 Могут быть выполнены проточные каналы 254 (левое изображение на фиг.3А и 3В), которые проходят через внешнюю периферическую кромку 146 от углубленной области 250. Каждый из каналов 254 может иметь первую толщину T1. Кроме того, как показано на чертеже, каждый из каналов 254 может проходить не в радиальном направлении относительно центра С ножа 202. Однако следует понимать, что каналы 254 могут 25 быть выполнены в различных местоположениях. В процессе эксплуатации, когда внешняя периферическая кромка 146 погружена в смазочно-охлаждающую текущую среду 142 (фиг.1) (например, диэлектрическую текущую среду), и нож 202 вращается в направлении по часовой стрелке, к внешней периферической кромке 146 по каналам 254 нагнетается свежая текущая среда 142, которая заполняет искровой промежуток 30 между дисковым ножом 102 и заготовкой 110. Нагнетающая сила обусловлена центробежным эффектом, возникающим в текущей среде 142 при высокоскоростном вращении, и указанная текущая среда 142 выходит из углубленной области 250. В альтернативных вариантах выполнения внешняя периферическая кромка 146 дискового ножа 202 может быть погружена в текущую среду 142.

[0018] На фиг.3А также изображен приводной шпиндель 160, который используется 35 для механического соединения дискового ножа 202 с выходным валом 161 двигателя 104 (фиг.1). Выходной вал 161 может быть неподвижно присоединен к периферии приводного шпинделя 160 известным образом. С приводным шпинделем 160 сопряжен электрический контактор 162, который электрически подключен к системе 106 40 управления электрическим разрядом (фиг.1) и проводит электрический ток к центру С ножа 202 для создания электрических разрядов. Контактор 162 может быть изготовлен из плотного графита или других расходуемых проводящих материалов. В изображенном варианте выполнения шпиндель 160 имеет отверстие 168 с наклонной поверхностью, например, имеющей по существу выпуклую форму, коническую форму или форму 45 усеченного конуса. Внешняя поверхность 166 контактора 162 является сопряженной с наклонной поверхностью отверстия 168, например имеет по существу коническую форму или форму усеченного конуса. Контактор 162 не имеет механического соединения со шпинделем 160 и может быть закреплен через центральное отверстие 170 выходного

вала 161 двигателя 104. В процессе эксплуатации контактор 162 соприкасается с приводным шпинделем 160 при вращении указанного шпинделя вокруг контактора на высокой скорости. Контактор 162 закреплен для обеспечения постоянного электрического соединения с источником питания. Контактор 162 расположен вблизи 5 центра С дискового ножа 202 для получения самой низкой скорости трения, обуславливающей минимальный износ. Трение между внешней поверхностью контактора и отверстием 168 приводного шпинделя 160 приводит к износу контактора 162. Для решения данной проблемы в дополнение к выполнению наклонных 10 поверхностей контактор 162 может быть поджат, например, пружиной 164 по направлению к отверстию 168 для обеспечения постоянного контакта в процессе эксплуатации. Таким образом, чем больше изнашивается и уменьшается в размерах контактор 162, тем глубже он входит в отверстие 168, что сохраняет контакт между приводным шпинделем 160 и контактором 162 и продлевает срок службы контактора. Следует понимать, что несмотря на то что при описании использованы конкретные 15 примеры сопряженных конических поверхностей, обеспечивающих вышеописанные функции, также возможно использование других сопряженных форм. Более того, любая другая конструкция, способная обеспечить вращение дискового ножа с одновременной подачей к нему электрического тока, находится в рамках объема правовой охраны изобретения. Например, приводной шпиндель 160 и контактор 162 также могут быть 20 установлены с другой стороны (относительно изображенной) дискового ножа 202, что обеспечивает большее пространство. Для получения большей контактной поверхности, обуславливающей более высокую пропускную способность по току, могут использоваться два контактора 162, по одному на каждой стороне ножа 102.

[0019] В другом альтернативном варианте выполнения, как изображено на фиг.3В, 25 смазочно-охлаждающая текучая среда 142 (показана только на фиг.1) может подаватьсяся по каналам 182, которые проходят через шпиндель 160. Каналы 182 отходят от центрального стационарного проточного прохода 180, который проходит через шпиндель 160, контактор 162 и выходной вал 161 и по которому текучая среда может подаваться в указанные каналы 182. Каналы 182 могут быть разнесены по периферии 30 в пределах приводного шпинделя 160. Между стационарным проходом 180 и шпинделем 160 могут быть установлены уплотнительные кольца 184, предотвращающие протечку в отверстие 168, в котором создается электрический контакт. Сопло 140 (фиг.1) также может применяться в вариантах выполнения, изображенных на фиг.3А и 3В, для добавления промывочного усилия извне. Несмотря на использование в качестве примера 35 вариантов выполнения дискового ножа, изображенных на фиг.3А и 3В, все идеи, проиллюстрированные на указанных чертежах, также могут быть применены к любому другому варианту выполнения дискового ножа, описанному в данном документе.

[0020] На фиг.4 изображен другой вариант выполнения дискового ножа 302, в котором нож имеет чашеобразную форму 370 с по существу плоским основанием 372 40 и цилиндрическим ободом 374, отходящим по существу перпендикулярно от указанного плоского основания. Таким образом, заготовка 110 режется передней торцевой кромкой 376 цилиндрического обода 374. На фиг.5А и 5В проиллюстрирован пример применения дискового ножа 302. На фиг.5А изображен первый рез 380 в заготовке 110, который получен с помощью дискового ножа 102, 202 (фиг.2 и 3, соответственно) и является по 45 существу плоским. На фиг.6В изображен второй рез 382 в той же самой заготовке, полученный с помощью дискового ножа 302, который в данном случае удаляет из заготовки полукруглую часть. Несмотря на то что на фиг.5А и 5В резы изображены полностью совпадающими, в некоторых случаях допускается небольшое несовпадение

резов. Дисковый нож 302 позволяет выполнять резание со стороны любой открытой поверхности заготовки, в том числе больших пустотелых стенок.

[0021] Любой из описанных в данном документе дисковых ножей 102, 202, 302 может быть выполнен в виде части набора дисковых ножей, каждый из которых имеет 5 различный диаметр. Таким образом, могут быть выполнены резы различного размера.

[0022] На фиг.6-13 проиллюстрированы различные варианты применения дисковых ножей 102, 202, 302. Фиг.6-7 иллюстрируют возможное использование устройства 100 (фиг.1), в котором применяется дисковый нож, для выполнения обработки, например фрезерования с помощью повторяющихся, сходящихся, наклонных резов,

10 обеспечивающих постепенное удаление все меньших частей заготовки 110. На фиг.6 проиллюстрирован другой процесс фрезерования с помощью устройства для электроимпульсной обработки. При обычной электроимпульсной обработке необходимо обеспечить разложение лишнего объема материала на микрочастицы. В отличие от этого, устройство 100 удаляет материал в виде более крупных фрагментов, что

15 обеспечивает более высокую скорость удаления материала и повышенную эффективность использования энергии. При удалении материала в виде более крупных фрагментов, а не в виде микрочастиц, расходуется меньше энергии. Если удаляемые фрагменты намного толще стружки, например, получаемой в процессе механического фрезерования или обточки, то процессы фрезерования, основанные на

20 электроимпульсной обработке, являются более быстрыми и эффективными по сравнению с процессами механической обработки. Если заготовка 110 выполнена из суперсплава, такого как Инконель, то преимущество в скорости удаления металла еще более очевидно, поскольку такие тяжелые металлы очень трудно поддаются механической резке.

25 [0023] На фиг.7 проиллюстрирован усовершенствованный способ в соответствии с фиг.6. Сначала выполняют крупные фрезерные уступы для получения максимальной скорости удаления материала. Затем по мере достижения заданной поверхности фрезерные уступы постепенно уменьшают с обеспечением получения более гладкой поверхности, которая более точно соответствует заданной поверхности. Следует

30 отметить, что эти процессы предназначены для черновой обработки с целью получения высокой скорости удаления материала, а также высокой эффективности процесса. Далее выполняют чистовые процессы, обеспечивающие достижение требований к готовой поверхности. На фиг.8 проиллюстрировано возможное применение устройства 100 для выполнения в заготовке 110 канавки 400 с помощью повторяющихся, сходящихся,

35 наклонных резов, обеспечивающих постепенное удаление все меньших частей заготовки 110. После удаления основной части материала с помощью новых способов может быть выполнен окончательный чистовой переход путем значительно более медленной обычной обработки при сохранении гораздо более высокой общей производительности и эффективности. Следует отметить, что устройство 100 применяют не для разрезания

40 заготовки пополам, а для максимально быстрого удаления лишнего металла.

[0024] На фиг.9 проиллюстрировано возможное применение устройства 100 и проиллюстрированного выше способа удаления материала для выполнения по существу криволинейной поверхности 402 в двухмерной зоне, а на фиг.10 проиллюстрировано возможное применение указанного устройства 100 для изменения криволинейной

45 поверхности 402 до по существу скругленной поверхности 404 с помощью повторяющихся наклонных резов, обеспечивающих быстрое удаление частей заготовки 110. Таким образом, криволинейная поверхность превращается в более правильный трехмерный профиль. При использовании обычной электроимпульсной обработки

удаленные фрагменты необходимо разбивать на микрочастицы в ходе гораздо более медленного процесса и при более высоком энергопотреблении. В частности, обычные процессы обработки требуют разбиения удаленного материала на множество более тонких металлических кусочков путем выполнения большего количества проходов инструмента при более высоком энергопотреблении. Каждая поверхность 402, 404 может потребовать выполнения обычной чистовой обработки, которая является гораздо более медленной и менее эффективной.

[0025] На фиг.11 проиллюстрировано возможное применение устройства 100 для многократного выполнения постепенно уменьшающихся смежных пазов в заготовке 110 с образованием по существу полусферического отверстия 406. Данный процесс требует использования постепенно уменьшающихся в размере дисковых ножей, при этом самый маленький нож(и) соответствует основанию полусферической полости 406. На фиг.12 проиллюстрировано возможное применение устройства 100 для выполнения в заготовке 110 криволинейной канавки 410 с помощью повторяющихся, сходящихся, выполненных под углом резов, обеспечивающих медленное удаление постепенно уменьшающихся частей заготовки 110. Окончательный чистовой переход в данном процессе может быть выполнен путем обычной обработки. В этом случае также устройство 100 для электроимпульсной обработки обеспечивает высокую скорость удаления материала и высокую эффективность в ходе выполнения обычного чистового процесса для достижения точного соответствия заданной поверхности. На фиг.13 проиллюстрирована возможность выполнения с помощью устройства 100 криволинейного реза 412 при использовании универсальной системы (систем) 130, 132 перемещения для направления ножа. В данном случае дисковый нож 102, 202 не является наклонным, то есть он перпендикулярен заготовке 110, в противном случае невозможно обеспечить изменяющуюся глубину реза.

[0026] Устройство 100 может применяться для изготовления практически любой детали сложной формы путем выполнения меньшего количества резов или проходов с обеспечением более быстрого получения черновой формы, особенно при обработке большого объема в случае твердых материалов заготовки. Для максимального удаления материала могут применяться три различных способа резки, обеспечивающих согласование сложных геометрических форм, например формы профильной части турбинных лопаток. Как проиллюстрировано на фиг.13, первый способ представляет собой прямолинейную резку, при которой нож устанавливают перпендикулярно поверхности заготовки. Нож вводят в заготовку прямолинейно вниз, а затем перемещают вперед в боковом направлении вдоль боковой плоскости ножа с образованием пропила, перпендикулярного поверхности заготовки. При перемещении вращающегося ножа вперед глубина реза может изменяться для очерчивания окончательного профиля заготовки. Как проиллюстрировано на фиг.1, второй способ представляет собой резку под углом, при которой нож устанавливают наклонно относительно поверхности заготовки. Под контролем универсальной системы 130, 132 перемещения дисковый нож 102, 202 врезается в заготовку параллельно боковой плоскости ножа. После того, как нож прорезает заготовку на определенную глубину, заготовку подают прямолинейно по направлению к наклонному и вращающемуся ножу для выполнения наклонного пропила постоянной глубины. В данном случае глубина резки не может изменяться.

[0027] Третий способ, проиллюстрированный на фиг.5, включает поверхностную резку, при которой дисковый нож 302 используют для врезания в заготовку 110 со стороны открытой поверхности. В данном случае обод дискового ножа 302 может

создавать приблизительно вогнутый профиль поверхности заготовки. Оптимальную комбинацию указанных трех способов применяют для удаления лишнего материала с необработанной заготовки путем выполнения минимального количества резов с максимальным приближением к заданной форме заготовки. Если имеется прутковая

5 заготовка прямоугольной или цилиндрической формы, сочетание способов и алгоритм резания нацелены на удаление наиболее крупных возможных фрагментов материала без нарушения границы заготовки. Более мелкие фрагменты могут быть удалены впоследствии для получения близкого соответствия заданной границе заготовки. Поскольку такие более мелкие резы выполняют при меньшей скорости, их число может 10 быть уменьшено для повышения производительности. После удаления большого количества материала образуется черновая поверхность, подвергаемая последующему процессу чистовой обработки, как правило, известному в данной области техники. Можно продолжать выполнение постепенно уменьшающихся резов со все большим 15 приближением к конечным размерам, поскольку выполнение таких резов все еще остается более скоростным по сравнению с обычными процессами чистовой обработки. В конце концов обычный процесс обработки ускоряется вследствие постоянно уменьшающегося размера фрагментов или стружки материала. На этом этапе способы, описанные в данном документе, останавливают и выполняют обычную обработку для получения готового изделия.

20 [0028] На фиг.14А-14D проиллюстрировано создание турбинной лопатки 500 (которая изображена на чертежах более тонкими линиями) путем выполнения нескольких резов с применением устройства 100 для электроимпульсной обработки и способов резки, описанных в данном документе. На данных чертежах заготовка 110 представляет собой прутковую заготовку. Пунктирная линия 505 обозначает ребро на выпуклой боковой 25 поверхности лопатки. На фиг.14А изображены два горизонтальных (как показано на чертеже) прямолинейных реза А, В, частично проходящих в прутковую заготовку 110. Прямолинейные резы изменяются по глубине для обеспечения очерчивания нижнего профиля лопатки. На фиг.14В изображены четыре наклонных реза 1-4, сходящихся с прямолинейными резами А, В (фиг.14А). Выполненные под углом или наклонные резы 30 1 и 2 образуют две нижние плоскости, пересекающиеся с вертикальной боковой поверхностью реза А по ширине ребра 505. С другой стороны, наклонные резы 3 и 4 таким же образом пересекаются с вертикальной боковой поверхностью реза В по ширине ребра 505. Рез 1 сходится с резом 2 над ребром 505 лопатки, кроме того, рез 3 сходится над ребром 505 с резом 4. Из заготовки 110 удаляют четыре куска материала. 35 Далее, на фиг.14С изображены четыре реза 5, 6, 7 и 8, выполненные под еще большим наклоном для удаления большего количества материала в средней части. Нижняя плоскость от реза 5 сходится в средней части с нижней плоскостью от реза 7, а нижняя плоскость от реза 6 сходится в средней части с нижней плоскостью от реза 8. Удаляют еще два куска материала. На этом этапе уже получают черновую форму выпуклого 40 аэродинамического профиля, подлежащую дальнейшей обработке и чистовой отделке. На фиг.14Д изображены еще четыре поверхностных реза I, II, III и IV, которые сглаживают ребра, оставленные наклонными резами 1-8. Указанные резы I, II, III и IV обычно не являются обязательными, но способствуют сокращению объема работ по дальнейшей обработке и чистовой отделке.

45 [0029] На фиг.15 изображена обработанная начерно аэродинамическая поверхность, имеющая припускной слой, подлежащий дальнейшей обработке и/или чистовой отделке. Образованная поверхность, начерно и быстро полученная после удаления 8-10 кусков металла, весьма близка к окончательной аэродинамической поверхности. С помощью

обычной обработки эти куски необходимо разрезать на многочисленные тонкие кусочки, что требует большего количества времени и энергии. Контуры, оставленные на аэродинамической поверхности, являются результатом резов А, В, I, II, III и IV. Тот же алгоритм, но, возможно, с другой комбинацией резов может быть применен к другим 5 боковым поверхностям аэродинамического профиля 500, а также к профилю в виде «ласточкиного хвоста» и т.п. В этом случае также устройство 100 быстро и эффективно удаляет крупные фрагменты материала при минимальных временных и энергетических затратах. Помимо необходимого поступательного перемещения заготовки 110 и держателя 150 ножа, как показано на фиг.1, также может потребоваться поворот 10 заготовки 110 и держателя 150 для установки заготовки и ножа в заданное положение для выполнения указанных различных резов.

[0030] Термины «первый», «второй» и т.п. в данном документе не указывают на какой-либо порядок, количество или значимость, а используются для отличия одного элемента от другого, а использование названий элементов в единственном числе в 15 данном документе указывает не на ограничение количества, а на наличие по меньшей мере одного рассматриваемого элемента. Наречие «приблизительно», используемое в сочетании с численной величиной, является включающим по отношению к указанной величине и имеет значение, определяемое контекстом (например, учитывает степень погрешности измерения конкретной величины). Окончание множественного числа, 20 взятое в скобки, используемое в данном документе, охватывает как единственное, так и множественное число определяемого элемента и, соответственно, обозначает не менее одного элемента (например, слово «металл(ы)» обозначает один или более металлов). Приведенные в данном документе диапазоны значений являются включающими и независимо комбинируемыми (например, определение диапазонов «вплоть до 25 приблизительно 25% по весу или, более конкретно, от приблизительно 5% до приблизительно 20% по весу» означает включение граничных точек и всех промежуточных значений диапазонов «от приблизительно 5% до приблизительно 25% по весу» и т.д.).

[0031] Несмотря на то что в данном документе описаны различные варианты 30 выполнения, из описания должно быть понятно, что специалистами могут быть выполнены различные комбинации элементов, изменения или усовершенствования, находящиеся в рамках объема данного изобретения. Кроме того, возможно выполнение различных модификаций для обеспечения приведения конкретной ситуации или материала в соответствие с идеями данного изобретения без отклонения от сущности 35 изобретения. Таким образом, подразумевается, что данное изобретение не ограничено конкретным вариантом выполнения, приведенным в качестве предпочтительного варианта его реализации, а охватывает все варианты выполнения, находящиеся в рамках объема прилагаемой формулы изобретения.

## ПЕРЕЧЕНЬ ЭЛЕМЕНТОВ

40	100	Устройство
	102	Дисковый нож
	104	Двигатель
	106	Система управления
	110	Заготовка
45	142	Смазочно-охлаждающая текучая среда
	112	Паз
	120	Часть материала
	130	Система перемещения
	132	Универсальная система перемещения

	150	Держатель ножа
	136	Датчик износа
	140	Гидравлическое сопло (сопла)
	146	Периферическая кромка
	250	Углубленная область
5	252	Передняя поверхность
	254	Каналы
	160	Шпиндель
	161	Выходной вал
	162	Электрический контактор
	168	Отверстие
10	166	Поверхность
	182	Каналы
	184	Уплотнительные кольца
	370	Чашеобразная форма
	372	Плоское основание
	374	Цилиндрический обод
15	376	Торцевая кромка
	382	Второй рез
	402	Криволинейная поверхность
	404	Скругленная поверхность
	500	Турбинная лопатка
	505	Пунктирная линия

20

### Формула изобретения

1. Устройство (100) для электроимпульсной обработки, содержащее: дисковый нож (102), двигатель (104), соединенный с указанным ножом (102) с обеспечением его вращения, систему (106) управления электрическим разрядом, функционально соединенную с дисковым ножом (102) и заготовкой (110) и обеспечивающую резание заготовки (110) вращающимся дисковым ножом (102) в ходе электроимпульсной обработки, приводной шпиндель (160), предназначенный для присоединения дискового ножа (102) к двигателю (104) и имеющий отверстие (168) с наклонной поверхностью, и электрический контактор, электрически подключенный к системе (106) управления электрическим разрядом и имеющий внешнюю поверхность (166), сопряженную с указанной наклонной поверхностью.
2. Устройство по п.1, дополнительно содержащее универсальную систему (132, 130) перемещения, предназначенную для трехмерного перемещения по меньшей мере одного из таких элементов, как дисковый нож (102) или заготовка (110), относительно другого из этих элементов.
3. Устройство по п.1, дополнительно содержащее датчик (136) износа, предназначенный для определения степени износа дискового ножа (102).
4. Устройство по п.1, дополнительно содержащее гидравлическое сопло, предназначенное для подачи смазочно-охлаждающей текучей среды (142) к границе (252) раздела между вращающимся дисковым ножом (102) и заготовкой (110).
5. Устройство по п.1, в котором дисковый нож (102) является по существу плоским, а его внешняя периферическая кромка (146) обеспечивает прорезание заготовки (110).
6. Устройство по п.1, в котором дисковый нож (102) имеет чашеобразную форму (370) с по существу плоским основанием (372) и цилиндрическим ободом (374), отходящим по существу перпендикулярно от указанного плоского основания (372), причем передняя торцевая кромка (376) цилиндрического обода (374) обеспечивает прорезание заготовки (110).
7. Устройство по п.1, в котором дисковый нож (102) имеет: углубленную область

(250), выполненную на его передней поверхности (252) и имеющую первую толщину, внешнюю периферическую кромку (146), имеющую радиальную протяженность и вторую толщину, которая превышает указанную первую толщину, и проточные каналы (182, 254), проходящие через внешнюю периферическую кромку (146) от углубленной 5 области (250).

8. Устройство по п.7, в котором каждый из проточных каналов (182, 254) имеет указанную первую толщину.

9. Устройство по п.7, в котором каждый из проточных каналов (182, 254) проходит не в радиальном направлении относительно центра дискового ножа (102).

10

15

20

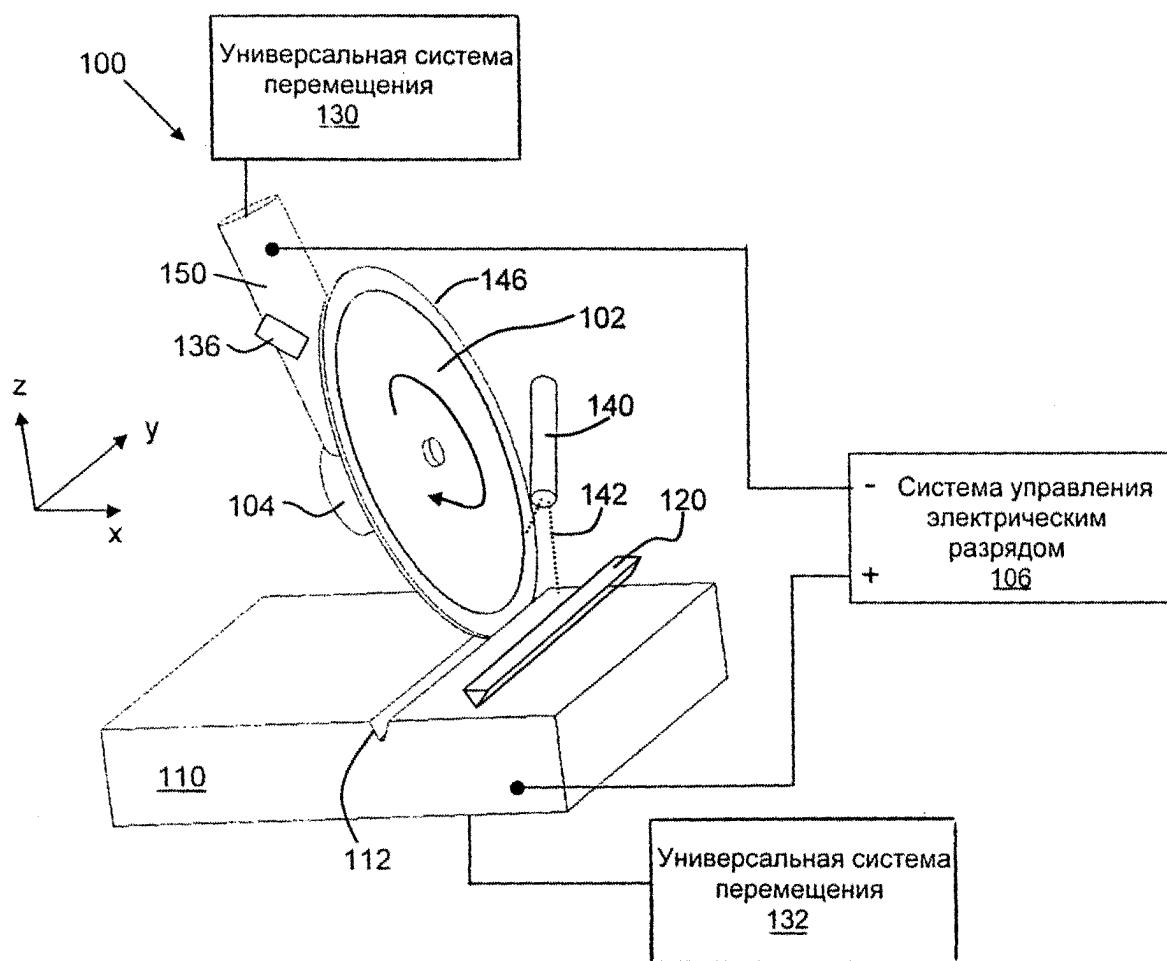
25

30

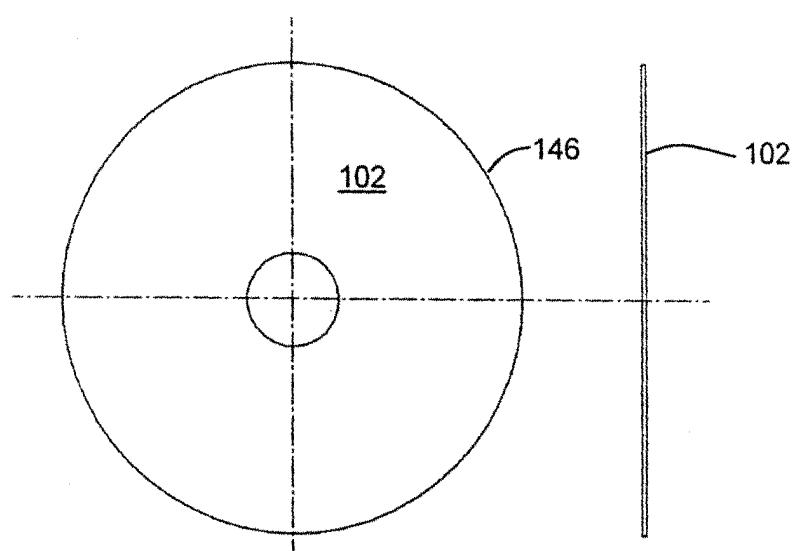
35

40

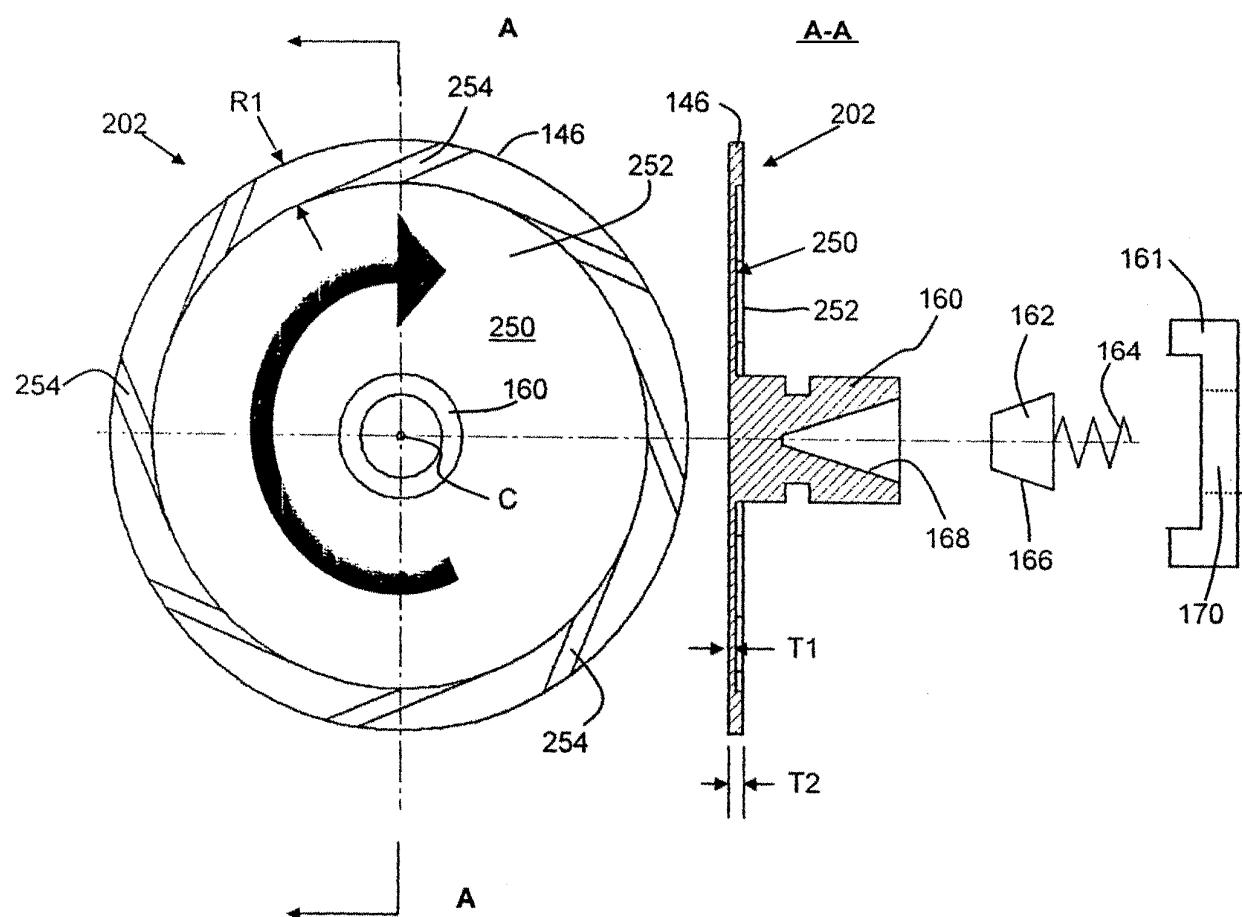
45

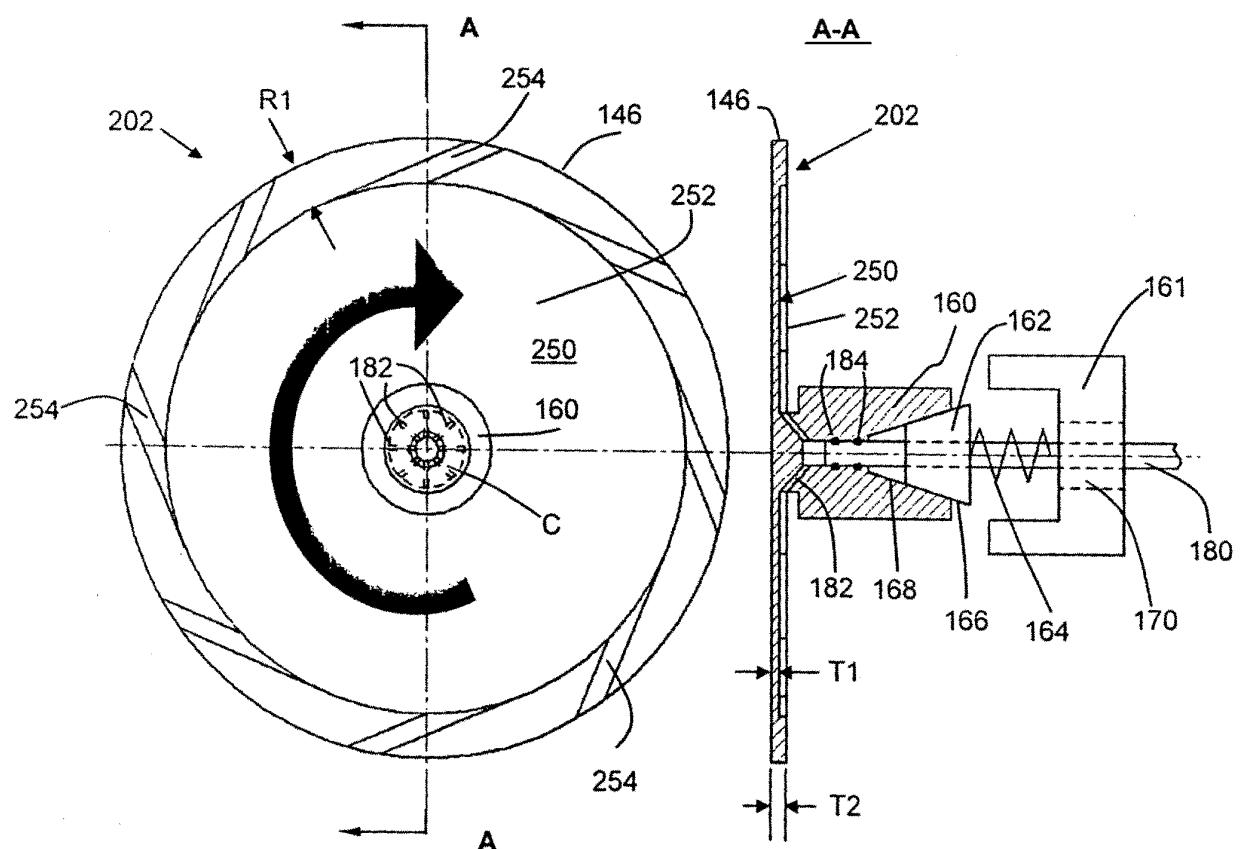


Фиг.1

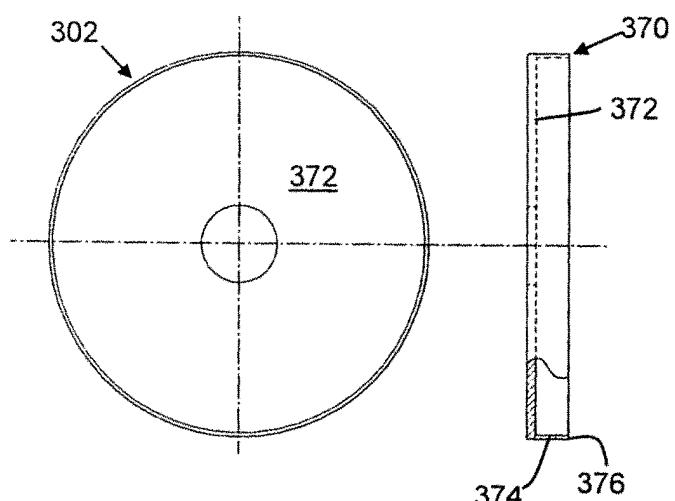


Фиг.2

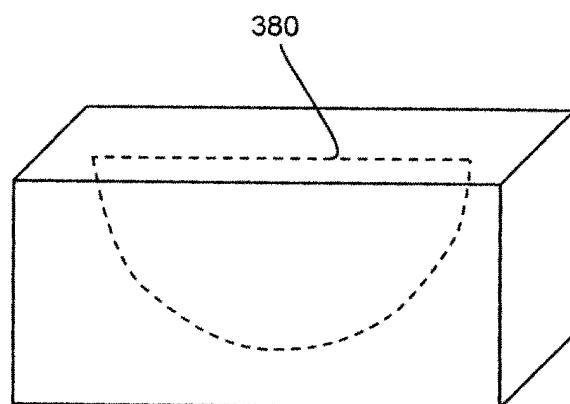




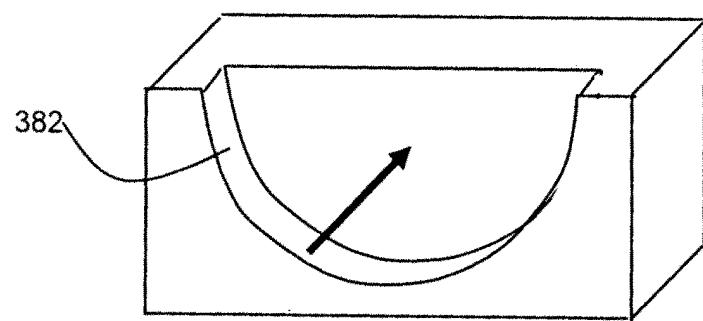
ФИГ.3В



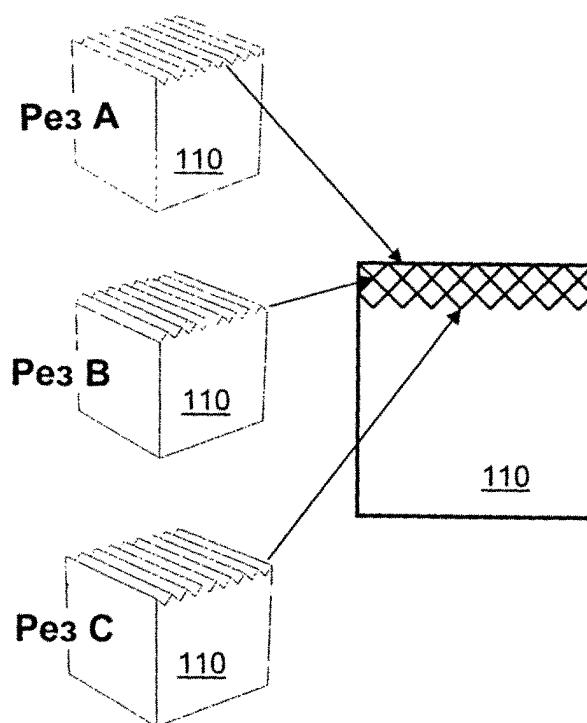
ФИГ.4



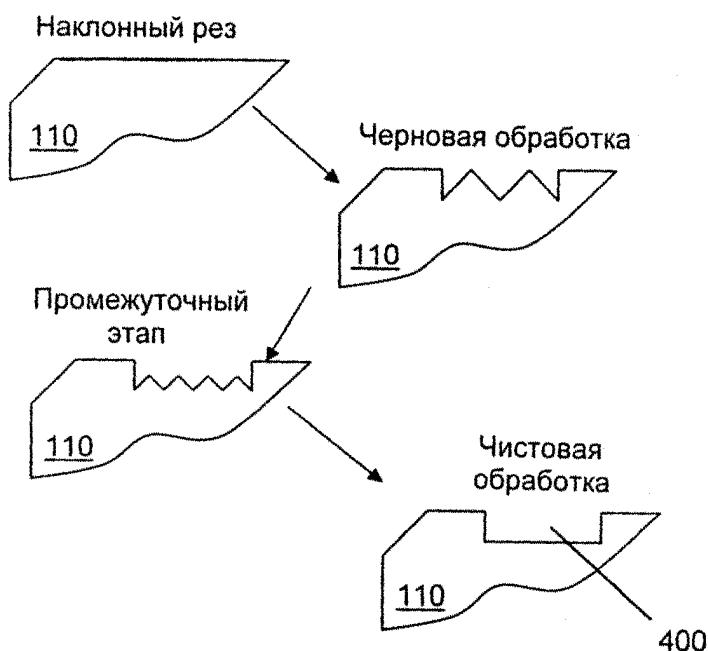
Фиг.5А



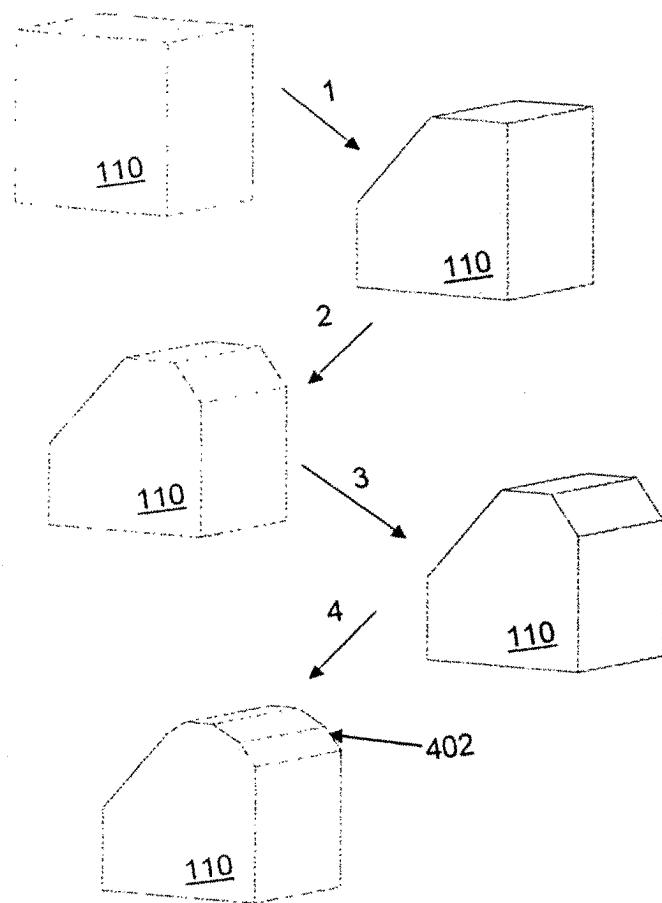
Фиг.5В



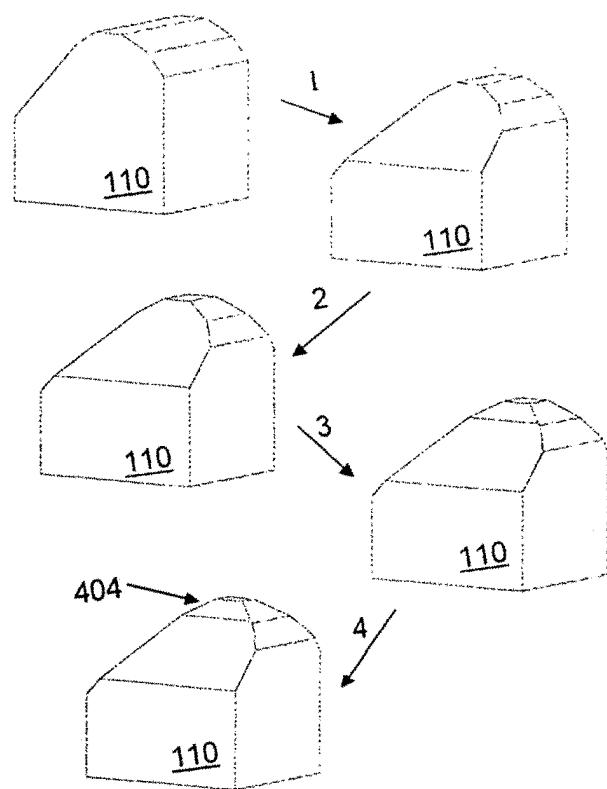
Фиг.6



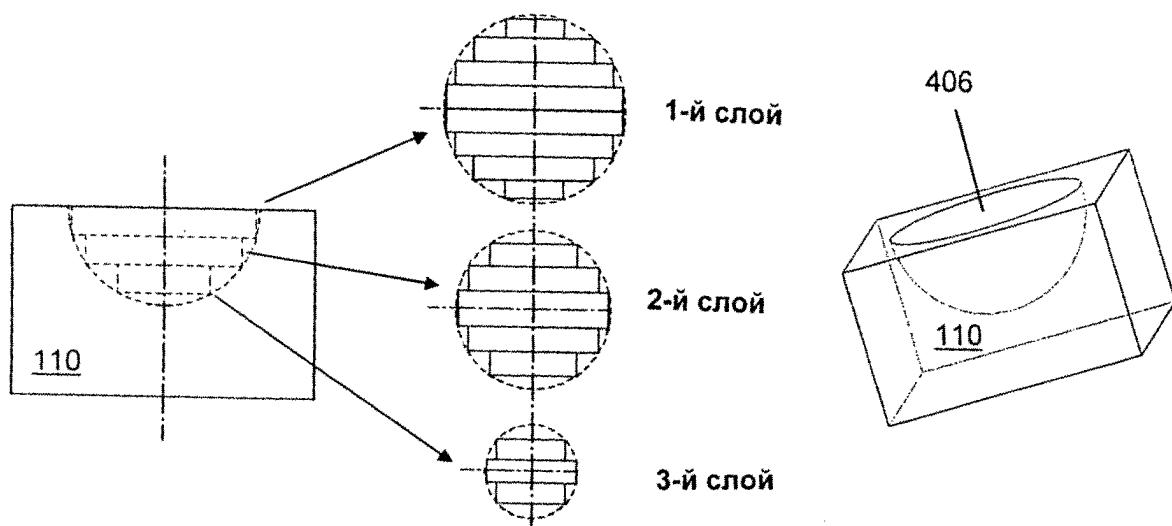
Фиг.8



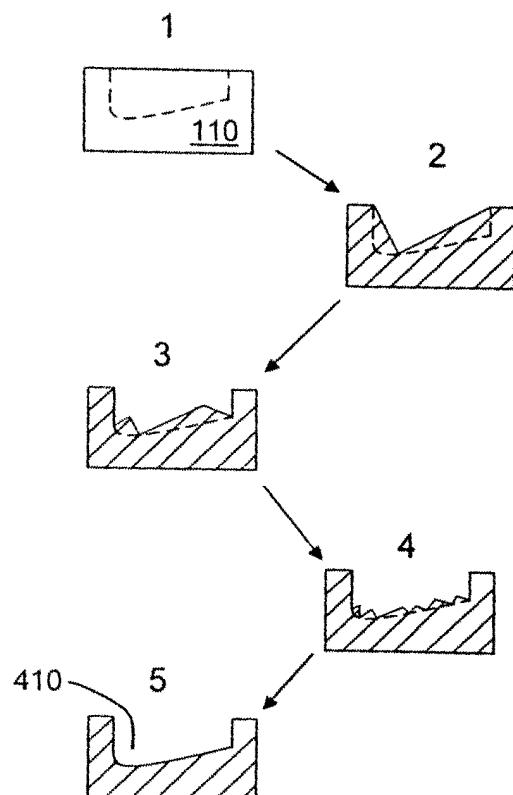
Фиг.9



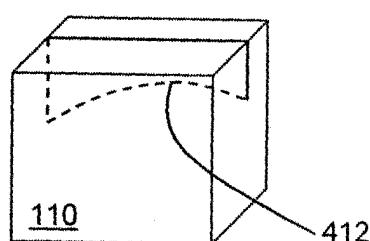
Фиг.10



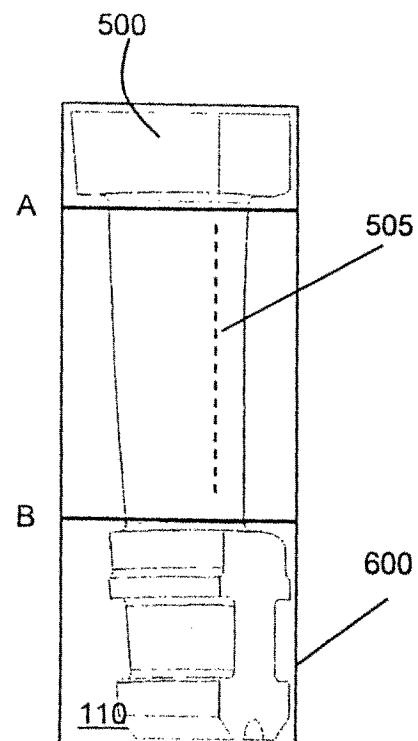
Фиг.11



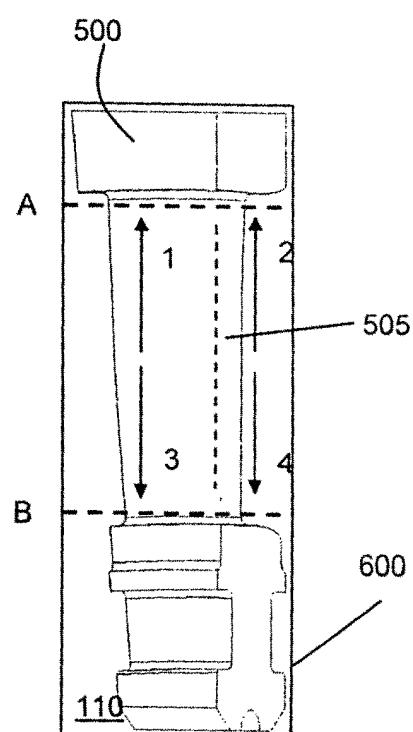
Фиг.12



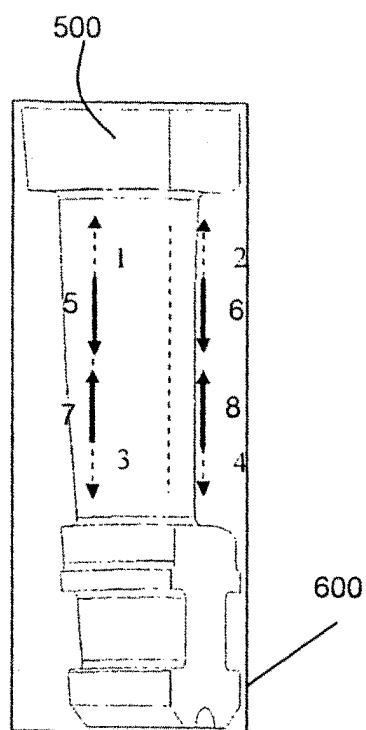
Фиг.13



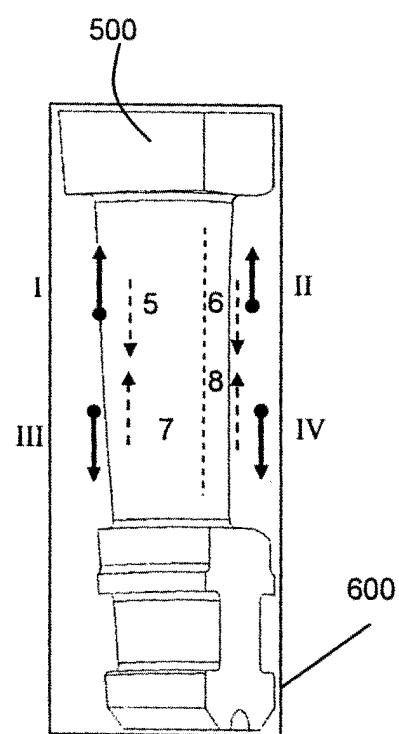
Фиг.14А



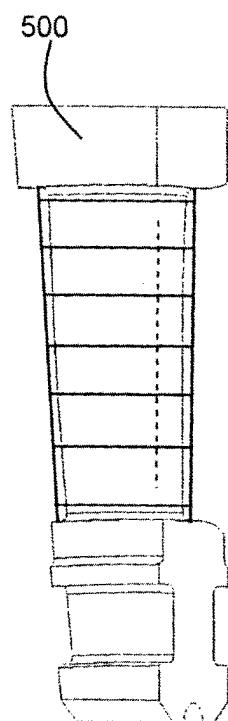
Фиг.14В



Фиг.14C



Фиг.14D



Фиг.15