

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **043812**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента
2023.06.26

(21) Номер заявки
202293374

(22) Дата подачи заявки
2021.06.25

(51) Int. Cl. **H05B 6/36** (2006.01)
C21D 1/10 (2006.01)
C21D 1/42 (2006.01)
H05B 6/02 (2006.01)
H05B 6/10 (2006.01)
H05B 6/44 (2006.01)

(54) **УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА С ПОПЕРЕЧНЫМ ПОТОКОМ
ДЛЯ НАГРЕВА ПЛОСКОГО ИЗДЕЛИЯ**

(31) **63/045,000**

(32) **2020.06.26**

(33) **US**

(43) **2023.03.02**

(86) **PCT/US2021/039095**

(87) **WO 2021/263107 2021.12.30**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**АДЖАКС ТОККО МАГНЕТЕРМИК
КОРПОРЕЙШН (US)**

(72) Изобретатель:
Лазор Дэвид (US)

(74) Представитель:
Нилова М.И. (RU)

(56) **US-A-4778971**
US-A1-20120305547
US-A-5126522
US-A1-20020121512
US-A1-20020148830
US-A1-20110289790

(57) Устройство для индукционного нагрева и способ его использования, в котором устройство содержит два полюса, каждый из которых содержит пару разнесенных друг от друга катушек, при этом по меньшей мере одно из расстояния между полюсами и шага полюса регулируют для управления плотностью потока энергии, передаваемой заготовке поперек ее ширины. В некоторых вариантах осуществления подвижные электромагнитные экраны также регулируют для управления плотностью потока энергии, передаваемой вдоль кромочных участков заготовки.

B1

043812

043812

B1

Область техники

Индукционные нагреватели желательны для нагрева электропроводящих непрерывных плоских изделий в виде полос/пластин различной толщины и ширины, как показано на фиг. 1. В предшествующем индукционном нагреве используется катушка соленоидного типа, намотанная вокруг полосы или пластины, как показано на фиг. 2. Фиг. 1 иллюстрирует нагрев участка пластины некоторой ширины. Фиг. 2 иллюстрирует обычную соленоидную катушку, намотанную вокруг пластины. На катушку подается переменный ток, создающий электромагнитное поле, которое индуцирует вихревой ток вокруг поверхности пластины, который отражает ток в катушке, что приводит к нагреву пластины джоулевой теплотой. Системы нагрева с соленоидными катушками имеют ряд недостатков, которые нежелательны для этого конкретного применения. Первая проблема заключается в том, что чем тоньше пластина, тем выше частота тока, которая требуется для эффективной индуктивной связи с пластиной. В то же время частота должна быть не настолько высокой, чтобы перегреть кромки пластины или перегреть поверхность до того, как сердцевина пластины нагреется до нужной температуры. Это требует очень высоких частот для нагрева тонких пластин и более низких частот для нагрева более толстых пластин. Таким образом, может потребоваться широкий диапазон частот от одного источника питания или от нескольких источников питания, каждый из которых имеет разную частоту для каждой толщины нагреваемой пластины. В этих ситуациях индукционный нагрев может оказаться экономически не целесообразным. Кроме того, для очень тонких пластин частота, требуемая для эффективного нагрева полосы посредством традиционной технологии с использованием соленоидной катушки индуктивности, может быть выше, чем разумно доступная, так что индукционный нагрев может быть невозможен.

Индукционный нагрев поперечным потоком известен. Например, в патенте США № 9462641, который полностью включен в настоящее описание путем ссылки, раскрывается устройство для поперечного индукционного нагрева, которое может быть использовано для нагрева полосы листового материала. Современные устройства для поперечного индукционного нагрева не имеют возможности точно и прецизионно управлять плотностью потока энергии, передаваемой листу поперек его длины, и часто либо перегревают кромочные участки, либо не догревают центральные участки или полосу. Кроме того, современные устройства для поперечного индукционного нагрева, как правило, способны работать только с узким диапазоном размеров полосового материала.

Сущность изобретения

Настоящее раскрытие описывает устройство для индукционного нагрева и способ его использования, в котором устройство содержит два полюса, причем каждый полюс содержит пару разнесенных друг от друга катушек, при этом по меньшей мере одно из расстояния между полюсами и шага полюса регулируется для управления плотностью потока энергии, передаваемой заготовке поперек ее ширины. В некоторых вариантах осуществления подвижные электромагнитные экраны также регулируются для управления плотностью потока энергии, передаваемой вдоль кромочных участков заготовки.

В соответствии с одним аспектом настоящего раскрытия предлагается узел индукционных катушек с поперечным потоком для индукционного нагрева по меньшей мере участка соответствующей плоской заготовки, перемещающейся вдоль направления обработки относительно узла электрических индукционных катушек с поперечным потоком, при этом соответствующая заготовка имеет противоположные первую и вторую стороны заготовки и первую и вторую кромки заготовки, при этом устройство для индукционного нагрева содержит первую плоскую катушку и вторую плоскую катушку, размещенные в первой общей плоскости, удаленной от первой стороны заготовки и расположенной напротив нее, и проходящие между первой и второй кромками заготовки и электрически связанные последовательно. Первая плоская катушка и вторая плоская катушка разнесены в одной плоскости, и по меньшей мере одна из первой плоской катушки и второй плоской катушки выполнена с возможностью перемещения в пределах первой общей плоскости для изменения расстояния между ними.

По меньшей мере одна из первой плоской катушки и второй плоской катушки может быть регулируемой для изменения шага катушки. Первая плоская катушка может быть выполнена из первого отводящего стержня и первого возвратного стержня, проходящих в общем направлении и на расстоянии друг от друга. Первый отводящий стержень и первый возвратный стержень могут быть физически и электрически связаны с первой оконечной направляющей, и по меньшей мере один из первого отводящего стержня и первого возвратного стержня может быть установлен с возможностью перемещения на первой оконечной направляющей так, что первый отводящий стержень и первый возвратный стержень выполнены с возможностью перемещения друг к другу и друг от друга для изменения шага катушки первой плоской катушки. Вторая плоская катушка может быть выполнена из второго отводящего стержня и второго возвратного стержня, проходящих в общем направлении и на расстоянии друг от друга. Вторым отводящим стержнем и вторым возвратным стержнем могут быть связаны со второй оконечной направляющей, и по меньшей мере один из второго отводящего стержня и второго возвратного стержня может быть установлен с возможностью перемещения на второй оконечной направляющей так, что второй отводящий стержень и второй возвратный стержень выполнены с возможностью перемещения друг к другу и друг от друга для изменения шага катушки второй плоской катушки.

Первая плоская катушка и вторая плоская катушка могут быть связаны с первой общей направляю-

шей, причем по меньшей мере одна из первой плоской катушки или второй плоской катушки поддерживается с возможностью перемещения на первой общей направляющей для перемещения к другой из первой или второй катушки или от нее. Первый возвратный стержень первой катушки и второй отводящий стержень второй катушки могут быть связаны с первой общей направляющей, и по меньшей мере один из первого возвратного стержня и второго отводящего стержня может быть выполнен с возможностью перемещения относительно общей направляющей для изменения расстояния между первой плоской катушкой и второй плоской катушкой.

Узел также может содержать третью плоскую катушку и четвертую плоскую катушку, размещенные во второй общей плоскости, удаленной от второй стороны заготовки и расположенной напротив нее, и проходящие между первой и второй кромками заготовки и электрически связанные последовательно с первой плоской катушкой и второй плоской катушкой. Третья плоская катушка и четвертая плоская катушка могут быть разнесены в одной плоскости во второй общей плоскости, и по меньшей мере одна из третьей плоской катушки и четвертой плоской катушки может быть выполнена с возможностью перемещения в пределах второй общей плоскости для изменения расстояния между ними. По меньшей мере одна из третьей плоской катушки и четвертой плоской катушки может быть регулируемой для изменения шага катушки.

Третья плоская катушка может быть выполнена из третьего отводящего стержня и третьего возвратного стержня, проходящих в общем направлении и на расстоянии друг от друга, причем третий отводящий стержень и третий возвратный стержень физически и электрически связаны с третьей оконечной направляющей. По меньшей мере один из третьего отводящего стержня и третьего возвратного стержня может быть установлен с возможностью перемещения на третьей оконечной направляющей так, что третий отводящий стержень и третий возвратный стержень выполнены с возможностью перемещения друг к другу и друг от друга для изменения шага катушки третьей плоской катушки. Четвертая плоская катушка может быть выполнена из четвертого отводящего стержня и четвертого возвратного стержня, проходящих в общем направлении и на расстоянии друг от друга, причем четвертый отводящий стержень и четвертый возвратный стержень связаны с четвертой оконечной направляющей. По меньшей мере один из четвертого отводящего стержня и четвертого возвратного стержня может быть установлен с возможностью перемещения на четвертой оконечной направляющей так, что четвертый отводящий стержень и четвертый возвратный стержень выполнены с возможностью перемещения друг к другу и друг от друга для изменения шага катушки четвертой плоской катушки.

Третья плоская катушка и четвертая плоская катушка могут быть связаны со второй общей направляющей, причем по меньшей мере одна из третьей плоской катушки или четвертой плоской катушки поддерживается с возможностью перемещения на второй общей направляющей для перемещения к другой из третьей или четвертой плоской катушки или от нее. Третий возвратный стержень третьей катушки и четвертый отводящий стержень четвертой катушки могут быть связаны со второй общей направляющей, причем по меньшей мере один из третьего возвратного стержня и четвертого отводящего стержня может быть выполнен с возможностью перемещения относительно второй общей направляющей для изменения расстояния между третьей плоской катушкой и четвертой плоской катушкой. Возвратный стержень второй плоской катушки и отводящий стержень третьей плоской катушки могут быть жестко связаны вместе.

Узел также может содержать по меньшей мере один электромагнитный экран, размещенный между первой общей плоскостью и первой стороной заготовки и удаленный от них и обращенный по меньшей мере к одной из первой и второй кромок заготовки, при этом по меньшей мере один электромагнитный экран выполнен с возможностью перемещения в поперечном направлении соответствующей заготовки.

В соответствии с другим аспектом предлагается узел индукционных катушек с поперечным потоком для индукционного нагрева по меньшей мере участка соответствующей плоской заготовки, перемещающейся вдоль направления обработки относительно узла электрических индукционных катушек с поперечным потоком, при этом соответствующая заготовка имеет противоположные первую и вторую стороны заготовки и первую и вторую кромки заготовки, содержит первую плоскую катушку и вторую плоскую катушку, размещенные в первой общей плоскости, удаленной от первой стороны заготовки и расположенной напротив нее, и проходящие между первой и второй кромками заготовки и электрически связанные последовательно, при этом по меньшей мере одна из первой плоской катушки и второй плоской катушки выполнена с возможностью регулировки для изменения шага катушки.

Первая плоская катушка может быть выполнена из первого отводящего стержня и первого возвратного стержня, проходящих в общем направлении и на расстоянии друг от друга, причем первый отводящий стержень и первый возвратный стержень могут быть физически и электрически связаны с первой оконечной направляющей. По меньшей мере один из первого отводящего стержня и первого возвратного стержня может быть установлен с возможностью перемещения на первой оконечной направляющей так, что первый отводящий стержень и первый возвратный стержень выполнены с возможностью перемещения друг к другу и друг от друга для изменения шага катушки первой плоской катушки. Вторая плоская катушка может быть выполнена из второго отводящего стержня и второго возвратного стержня, проходящих в общем направлении и на расстоянии друг от друга, причем второй отводящий стержень и вто-

рой возвратный стержень связаны со второй оконечной направляющей. По меньшей мере один из второго отводящего стержня и второго возвратного стержня может быть установлен с возможностью перемещения на второй оконечной направляющей так, что второй отводящий стержень и второй возвратный стержень выполнены с возможностью перемещения друг к другу и друг от друга для изменения шага катушки второй плоской катушки.

Узел также может содержать третью плоскую катушку и четвертую плоскую катушку, размещенные во второй общей плоскости, удаленной от второй стороны заготовки и расположенной напротив нее, и проходящие между первой и второй кромками заготовки и электрически связанные последовательно с первой плоской катушкой и второй плоской катушкой. По меньшей мере одна из третьей плоской катушки и четвертой плоской катушки может быть регулируемой для изменения шага катушки. Третья плоская катушка может быть выполнена из третьего отводящего стержня и третьего возвратного стержня, проходящих в общем направлении и на расстоянии друг от друга, причем третий отводящий стержень и третий возвратный стержень физически и электрически связаны с третьей оконечной направляющей. По меньшей мере один из третьего отводящего стержня и третьего возвратного стержня может быть установлен с возможностью перемещения на третьей оконечной направляющей так, что третий отводящий стержень и третий возвратный стержень выполнены с возможностью перемещения друг к другу и друг от друга для изменения шага катушки третьей плоской катушки. Четвертая плоская катушка может быть выполнена из четвертого отводящего стержня и четвертого возвратного стержня, проходящих в общем направлении и на расстоянии друг от друга, причем четвертый отводящий стержень и четвертый возвратный стержень связаны с четвертой оконечной направляющей. По меньшей мере один из четвертого отводящего стержня и четвертого возвратного стержня установлен с возможностью перемещения на четвертой оконечной направляющей так, что четвертый отводящий стержень и четвертый возвратный стержень выполнены с возможностью перемещения друг к другу и друг от друга для изменения шага катушки четвертой плоской катушки.

В соответствии с другим аспектом, предлагается способ индукционного нагрева соответствующей полосовой заготовки, включающий подачу тока в узел электрических индукционных катушек с поперечным потоком для индукционного нагрева по меньшей мере участка соответствующей полосовой заготовки, перемещающейся вдоль направления обработки относительно узла электрических индукционных катушек с поперечным потоком, при этом соответствующая заготовка имеет противоположные первую и вторую стороны заготовки и первую и вторую кромки заготовки, при этом устройство для индукционного нагрева содержит первую плоскую катушку и вторую плоскую катушку, размещенные в первой общей плоскости, удаленной от первой стороны заготовки и расположенной напротив нее, и проходящие между первой и второй кромками заготовки и электрически связанные последовательно, при этом первая плоская катушка и вторая плоская катушка размещены в одной плоскости, и по меньшей мере одна из первой плоской катушки и второй плоской катушки выполнена с возможностью перемещения в пределах первой общей плоскости для изменения расстояния между ними; и регулировку расстояния между первой и второй катушками. По меньшей мере одна из первой плоской катушки и второй плоской катушки может быть регулируемой для изменения шага катушки, а способ также может включать регулировку шага по меньшей мере одной из катушек.

Перечень чертежей

На фиг. 1 показан вид в перспективе нагреваемого листового материала в соответствии с аспектами настоящего раскрытия;

фиг. 2 - вид в перспективе традиционной соленоидной катушки, намотанной вокруг нагреваемого листового материала;

фиг. 3 - вид в перспективе катушки широкоовального типа с поперечным потоком для нагрева полосового материала;

фиг. 4 - вид в перспективе, показывающий переменный ток, протекающий в катушке на фиг. 3;

фиг. 5 - вид в перспективе, показывающий ток, генерируемый в полосовом материале катушкой на фиг. 3;

фиг. 6 - вид в перспективе пары катушек широкоовального типа на каждой стороне полосового материала;

фиг. 7a - вид сверху, показывающий переменный ток, протекающий в катушках на фиг. 6;

фиг. 7b - вид сверху, показывающий переменный ток, протекающий в катушках расщепленного индуктора с обратным током;

фиг. 8a - вид сверху, показывающий ток, генерируемый в полосе с использованием расщепленного индуктора поперечного потока с обратным током на фиг. 7b;

фиг. 8b - вид сверху, показывающий плотность потока энергии, генерируемой в полосе расщепленным индуктором поперечного потока с обратным током;

фиг. 9a - вид в перспективе, показывающий первую конфигурацию пары катушек широкоовального типа на каждой стороне полосового материала;

фиг. 9b - вид в перспективе, показывающий вторую конфигурацию пары катушек широкоовального типа на каждой стороне полосового материала;

- фиг. 10a - вид в перспективе, показывающий первую конфигурацию пары катушек широкоовального типа и электромагнитных экранов на каждой стороне полосового материала;
- фиг. 10b - вид в перспективе, показывающий вторую конфигурацию пары катушек широкоовального типа и электромагнитных экранов на каждой стороне полосового материала;
- фиг. 11a - вид в перспективе, показывающий первую конфигурацию пары катушек широкоовального типа и электромагнитных экранов на каждой стороне узкого полосового материала;
- фиг. 11b - вид в перспективе, показывающий вторую конфигурацию пары катушек широкоовального типа и электромагнитных экранов на каждой стороне узкого полосового материала;
- фиг. 12 - вид в перспективе узла индуктора с набором уложенных друг на друга магнитных пластин, расположенных снаружи узла катушек;
- фиг. 13 - вид в перспективе приведенного для примера узла индукционного нагрева в соответствии с настоящим раскрытием;
- фиг. 14 - другой вид в перспективе приведенного для примера узла индукционного нагрева в соответствии с настоящим раскрытием;
- фиг. 15 - вид в перспективе приведенного для примера узла индукционного нагрева на фиг. 13 и 14 и полосы листового материала;
- фиг. 16 - вид в перспективе приведенного для примера узла индукционного нагрева на фиг. 15 в первой конфигурации;
- фиг. 17 - вид в перспективе приведенного для примера узла индукционного нагрева на фиг. 15 во второй конфигурации;
- фиг. 18 - вид в перспективе приведенного для примера узла индукционного нагрева на фиг. 15 с перемещаемыми электромагнитными экранами в первой конфигурации;
- фиг. 19 - вид в перспективе приведенного для примера узла индукционного нагрева на фиг. 15 с перемещаемыми электромагнитными экранами во второй конфигурации;
- фиг. 20 - вид в перспективе приведенного для примера узла индукционного нагрева на фиг. 15 с перемещаемыми электромагнитными экранами в третьей конфигурации вокруг узкой полосы листового материала;
- фиг. 21 - график, иллюстрирующий эффекты регулировки ширины шага полюса;
- фиг. 22 - график, иллюстрирующий эффекты регулировки разделенного возвратного зазора; и
- фиг. 23 - график, иллюстрирующий эффекты регулировки перекрытия электромагнитного экрана.

Сведения, подтверждающие возможность осуществления изобретения

На чертежах одинаковые ссылочные позиции по всему тексту относятся к одинаковым элементам, а различные элементы не обязательно показаны в масштабе. Также термин "связь" или "связи" включает не прямое или прямое электрическое или механическое соединение, или их комбинацию. Например, если первое устройство устанавливает связь со вторым устройством или связывается со вторым устройством, то это соединение может быть через прямое электрическое соединение или через не прямое электрическое соединение посредством одного или более промежуточных устройств и соединений. Одна или более рабочих характеристик различных схем, систем и/или компонентов описаны ниже в контексте функций, которые в некоторых случаях являются результатом конфигурации и/или межсоединения различных конструкций, когда схема запитана и работает.

Из-за вышеупомянутых проблем с соленоидным индукционным нагревом, особенно для очень тонких полос или пластин, вместо традиционной технологии соленоидного нагрева использовалась технология поперечного потока. Было разработано множество различных конструкций с поперечным потоком. Многие из этих конструкций очень громоздки и требуют большого количества движущихся частей, которые требуют сложного обслуживания. В одном примере плоскую полосу/пластину нагревают с использованием конструкции с поперечным потоком, где может быть выбрана либо одна частота, либо небольшое изменение частоты для эффективного нагрева пластин/полос всех размеров, используя диапазон частот, доступный от единого источника питания. Желательно иметь как можно более низкую частоту и при этом иметь возможность нагревать пластину без перегрева какой-либо ее части. Вторым недостатком использования катушки соленоидного типа заключается в том, что катушку наматывают вокруг пластины, что затрудняет перемещение пластины после нагрева до станции изгиба. В случае полосы катушка не может быть снята с непрерывной полосой внутри нее. Когда заготовка очень широкая, типичная катушка в линии выравнивания швов, как правило, не может быть спроектирована на равномерный нагрев по всей ширине заготовки. Следовательно, было бы выгодно использовать конфигурацию катушки индукционного нагрева, которая не окружает нагреваемую пластину/полосу.

Также со ссылкой на фиг. 3-5, один аспект настоящего раскрытия предлагает катушку с поперечным потоком, сконструированную таким образом, что полоса S проходит между парой катушек C широкоовального типа, совместно называемых полюсом P, как показано на фиг. 3. Фиг. 3 показывает простую установку катушки индукционного нагрева с поперечным потоком, показывающую конфигурацию полюса P по отношению к полосе. Фиг. 4 показывает ток, приложенный к широкоовальным катушкам C. Фиг. 5 показывает протекание генерируемого тока по поверхности полосы (типично для каждой стороны). Как правило, катушки C расположены так, что они непосредственно находятся на одной линии друг

с другом или, возможно, являются зеркальным отражением друг друга по обе стороны от полосы, хотя это не является строгим требованием для всех возможных реализаций. Катушки С электрически связаны последовательно друг с другом, так что ток в катушках С по обе стороны полосы электрически совпадает по фазе друг с другом, как показано на фиг. 4. Это приводит к протеканию индуцированного тока в полосе, как показано на фиг. 5.

Также со ссылкой на фиг. 6, 7а и 7б в одном примере пара широкоовальных катушек С с поперечным потоком предусмотрена на каждой стороне полосы и образует по меньшей мере два полюса Р1 и Р2. Каждая из катушек С электрически связана последовательно и совпадает по фазе по отношению к каждой из поверхностей, чтобы вести себя как расщепленный индуктор с обратным током (split return inductor), как показано на фиг. 7а. Фиг. 7б показывает конфигурацию и протекание тока в типичном расщепленном индукторе с обратным током. Фиг. 7а и 7б соответственно показывают (фиг. 7а), что конфигурация катушки в настоящем раскрытии разработана для индуктивного поведения (фиг. 7б) как у обычного расщепленного индуктора с обратным током.

Фиг. 8а и 8б соответственно показывают (фиг. 8а) ток, генерируемый в полосе с использованием расщепленного индуктора поперечного потока с обратным током, и (фиг. 8б) плотность потока энергии, генерируемой в полосе с использованием расщепленного индуктора поперечного потока с обратным током. В расщепленном индукторе с обратным током основной нагрев полосы обычно происходит вдоль средней секции узла индуктора, где ток удваивается, т.е. практически вдвое больше, чем ток во внешних стержнях индуктора. Поскольку мощность пропорциональна квадрату тока, умноженному на сопротивление ($P=I^2 \times R$), то если плотность тока удвоится вдоль среднего(их) проводника(ов) пары полюсов, то мощность, генерируемая в полосе, увеличится в 4 раза. В типичном расщепленном индукторе поперечного потока с обратным током индуцированный ток аналогичен току, показанному на фиг. 8а, что приводит к относительному распределению плотности потока энергии в полосе, как показано на фиг. 8б.

Фиг. 9а и 9б показывают, что пространство между полюсами Р1 и Р2 в индукторе поперечного потока, как показано на фиг. 7а, может быть отрегулировано для изменения шаблона нагрева поперек ширины полосы. Этот пример предоставляет возможность регулировки расстояния SP между центральными стержнями каждой из широкоовальных катушек С, как показано на фиг. 9а и 9б. Эта функция предоставляет возможность регулировать плотность потока энергии поперек полосы и, следовательно, результирующий тепловой профиль поперек полосы.

Как дополнительно показано на фиг. 10а, 10б, 11а и 11б, дополнительные аспекты предоставляют один или более электромагнитных экранов SH, изготовленных из материала с высокой электрической проводимостью. Экраны SH размещают между катушками С и нагреваемой полосой, как показано на фиг. 10а и 10б. Экраны SH выполнены с возможностью перемещения (например, вдоль направления длины пластины, как показано на фиг. 1) и используются для экранирования кромок полосы от электромагнитного поля для минимизации перегрева кромок полосы. Экраны SH регулируются таким образом, что для более узкой полосы, как показано на фиг. 11а и 11б, они выполняют ту же функцию. Фиг. 10а и 10б показывают регулируемые электромагнитные экраны SH, предоставленные для управления температурой кромки полосы. Фиг. 11а и 11б показывают электромагнитные экраны SH, регулируемые таким образом, что они могут выполнять ту же функцию с более узкой полосой.

Также со ссылкой на фиг. 12, раскрытые концепции в некоторых примерах также могут включать уложенные друг на друга магнитные слоистые листы LS, расположенные снаружи катушек вдали от полосы, как показано на фиг. 12. Пластины помогают повысить эффективность индуктора, а также свести к минимуму рассеяние поля снаружи катушек С, которое может наводить тепло в других электропроводящих объектах за пределами индуктора. Фиг. 12 показывает узел индуктора с набором уложенных друг на друга магнитных пластин LS, расположенных снаружи узла катушек.

Фиг. 13-20 иллюстрируют различные аспекты приведенного для примера варианта осуществления узла индукционного нагрева по настоящему раскрытию, обозначенного в целом ссылочной позицией 50, имеющего два полюса 52А и 52В и допускающего все вышеописанные регулировки, включающие регулировку разделенного возвратного зазора, регулировку шага полюсов одного или обоих полюсов и/или регулировку одного или более положений электромагнитного экрана, чтобы, таким образом, обеспечить более равномерный нагрев широкого диапазона ширин полосы в едином узле индукционного нагрева.

Общие компоненты узла 50 индукционного нагрева будут представлены в порядке протекания тока через узел, а затем будет описана функция узла 50 индукционного нагрева. Протекание тока через узел обозначено стрелками А на фиг. 13. Полюс 52А содержит первую катушку С1, имеющую отводящий стержень 54 с первым (ближним) концом 56, на который поступает ток от соответствующего источника питания (не показан). Используемые здесь термины "ближний конец" и "дальний конец", по отношению к стержням катушки, относятся к направлению протекания тока от ближнего конца, относящегося к концу стержня, который принимает ток, к дальнему концу, относящемуся к концу стержня, где ток выходит из стержня. Таким образом, стержень 54 поддерживается с возможностью перемещения на втором (дальнем) конце 58 посредством оконечной направляющей или направляющего элемента 60, а также указанной стержень электрически связан с указанной оконечной направляющей. Направляющая 60 является проводящей или содержит проводящие структуры для электрической связи стержня 54 с возвратным

стержнем 62. Дальний конец возвратного стержня 62 поддерживается с возможностью перемещения посредством общей направляющей или направляющего элемента 64, а также указанный стержень электрически связан с указанной общей направляющей. Общая направляющая 64 является проводящей или содержит проводящие структуры для электрической связи стержня 62 катушки С1 с отводящим стержнем 66 катушки С2. Отводящий стержень 66 электрически связан с оконечной направляющей или направляющим элементом 68. Направляющая 68 является проводящей или содержит проводящие структуры для электрической связи стержня 66 с возвратным стержнем 70 катушки С2. Катушка С2 электрически связана с катушкой С3 полюса 52В через разъем 74. Отводящий стержень 76 катушки С3 электрически связан с оконечной направляющей 78. Направляющая 78 является проводящей или содержит проводящие структуры для электрической связи отводящего стержня 76 с возвратным стержнем 80. Возвратный стержень 80 электрически связан с общей направляющей или направляющим элементом 82, который электрически связывает катушку С3 с отводящим стержнем 84 катушки С4. Отводящий стержень 84 электрически связан с оконечной направляющей 86, которая является проводящей или содержит проводящие структуры для электрической связи стержня 84 с возвратным стержнем 88 катушки С4. В данном описании термин "общая направляющая" используется для направляющей или направляющего элемента, которая или который соединяет вместе катушки соседних полюсов, а термин "оконечная направляющая" используется для направляющей или направляющего элемента, которая или который соединяет вместе отводящий стержень и возвратный стержень данной катушки.

Отсюда ясно, что катушки С1, С2, С3 и С4 соединены последовательно, а расположение отводящих стержней и возвратных стержней каждой пары катушек (С1/С4 и С2/С3) таково, что ток течет через отводящие стержни каждой пары катушек в общем направлении и протекает через возвратные стержни каждой пары катушек в общем направлении по соответствующим сторонам нагреваемого листа.

Каждый из отводящих стержней 54, 66, 76 и 84 связан с возможностью перемещения своим дальним концом с соответствующими оконечными направляющими для скользящего перемещения относительно нее, в то время как каждый из возвратных стержней 62, 70 и 80 и 88 неподвижно связан своими ближними концами с соответствующими оконечными направляющими. При этом отводящие стержни 66 и 84 связаны с возможностью скольжения своими ближними концами с соответствующими общими направляющими. Таким образом, скользящее соединение на оконечных направляющих облегчает перемещение соответствующих отводящих и возвратных стержней катушки друг к другу и друг от друга для регулировки шага катушки, в то время как скользящее соединение на общих направляющих облегчает перемещение полюсов относительно друг к другу и друг от друга для регулировки разделенного возвратного зазора.

Со ссылкой на фиг. 14, понятно, что относительное перемещение отводящих стержней 54, 66, 76 и 84 относительно возвратных стержней 62, 70, 80 и 88 облегчает изменение по меньшей мере одного из разделенного возвратного зазора (например, расстояние между полюсами 52А и 52В) и шага полюса (например, расстояние между отводящими и возвратными стержнями полюса). Скольжение отводящих стержней по оконечным направляющим в первую очередь влияет на изменение шага полюса, в то время как скольжение возвратного стержня 62 и отводящего стержня 84 по их соответствующим общим направляющим в первую очередь влияет на изменение разделенного возвратного зазора.

Фиг. 15-17 иллюстрируют пример возможных регулировок шага полюса и/или разделенного возвратного зазора. На фиг. 15, полюса 52А и 52В имеют первый шаг полюса и разнесены на первый разделенный возвратный зазор. На фиг. 16 полюса 52А и 52В имеют такой же шаг полюса, как показано на фиг. 15, но разделенный возвратный зазор был уменьшен путем сближения полюсов 52А и 52В. На фиг. 17, разделенный возвратный зазор между полюсами 52А и 52В такой же, как показано на фиг. 16, но шаг полюса каждого полюса 52А и 52В был уменьшен путем скольжения отводящих стержней 66 и 84 по общим направляющим. Следует понимать, что регулировки шага полюса и/или разделенного возвратного зазора могут позволить узлу более прецизионно нагревать более широкий диапазон ширин и толщин полосового материала и/или более равномерно нагревать данную полосу посредством увеличения или уменьшения концентрации магнитного потока, создаваемого катушками.

Обращаясь к фиг. 18-20, проиллюстрирован приведенный для примера узел 50 с электромагнитными экранами SH, установленными между катушками С1-С4 и листовым материалом SM. Электромагнитные экраны SH обычно выровнены вдоль оконечных направляющих и общих направляющих и имеют размер и форму, которые обычно рассчитаны для продольных кромочных участков листового материала для предотвращения перегрева таких кромок. На фиг. 18 и 19 проиллюстрирована относительно широкая полоса листового материала SM с электромагнитными экранами SH, перекрывающими листовой материал SM в большей степени на фиг. 19, чем на фиг. 18. На фиг. 20 проиллюстрирована относительно узкая полоса листового материала SM и электромагнитный экран SH сдвинутый внутрь, чтобы закрыть по меньшей мере часть продольных кромок листового материала SM.

Следует понимать, что для выполнения регулировок, описанных в предыдущих абзацах, может быть использован широкий диапазон исполнительных механизмов, таких как линейные исполнительные механизмы, сервоприводы и т.д. В некоторых вариантах осуществления некоторые или все регулировки могут быть выполнены вручную. В других вариантах осуществления могут быть использованы различ-

ные датчики для определения состояния листового материала и в ответ на определенные данные могут быть внесены регулировки в режиме реального времени в один или более параметров узла 50. Например, могут быть использованы различные датчики температуры для контроля температуры полосы, чтобы обнаруживать горячие или холодные области и регулировать узел 50, чтобы исключить или снизить количество таких областей. Датчики отслеживания кромок могут быть использованы для обнаружения кромок листового материала и более точного расположения электромагнитных экранов относительно кромок.

Согласно фиг. 21-23 эффекты вышеописанных регулировок шага полюса, разделенного возвратного зазора и положения экрана показаны в графической форме для полосы листового материала заданной ширины. На каждом графике положение вдоль ширины полосы отложено по оси x , в то время как средняя по времени относительная плотность потока энергии, переданная полосе, отложена по оси y . На фиг. 21 показаны различные шаги полюса, включая широкий шаг полюса (пунктирная линия), средний шаг полюса (пунктирная линия) и узкий шаг полюса (сплошная линия). Видно, что каждая из линий сходится у центральной линии полосы и расходится по направлению к кромкам полосы, причем широкий шаг полюса приводит к передаче наибольшей плотности потока энергии к кромочным участкам, а узкий шаг полюса приводит к передаче наименьшей плотности потока энергии к кромочным участкам. На фиг. 22 показаны различные разделенные возвратные зазоры, включающие большой разделенный возвратный зазор (пунктирная линия) и малый разделенный возвратный зазор (сплошная линия). Видно, что каждая из линий сходится у центральной линии полосы и расходится по направлению к кромкам полосы, причем большой разделенный возвратный зазор приводит к передаче наибольшей плотности потока энергии к кромочным участкам, а малый разделенный возвратный зазор приводит к передаче наименьшей плотности потока энергии к кромочным участкам. Следует понимать, что изменение шага полюса обычно приводит к большему общему изменению в передаче плотности потока энергии по сравнению с изменением разделенного возвратного зазора.

Соответственно регулировка ширины шага полюса может считаться грубой регулировкой, в то время как регулировка разделенного возвратного зазора может считаться точной регулировкой.

Таким образом, на практике шаг полюса может быть сначала установлен на ширину для достижения базовой передачи плотности потока энергии, а затем можно использовать разделенный возвратный зазор для точной настройки передачи плотности потока энергии.

Фиг. 23 иллюстрирует два разных перекрытия электромагнитного экрана: уменьшенное перекрытие (пунктирная линия) и увеличенный зазор (сплошная линия). Уменьшенное перекрытие приводит к передаче большей плотности потока энергии к кромкам полосы. Перекрытие электромагнитных экранов может быть использовано в сочетании с регулировками шага полюса и разделенного возвратного зазора для точной настройки передачи плотности потока энергии для данного размера полосы.

В описанных примерах возможны модификации, а также возможны другие реализации в пределах объема прилагаемой формулы изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Узел индукционных катушек с поперечным потоком для индукционного нагрева по меньшей мере участка соответствующей плоской заготовки, перемещающейся вдоль направления обработки относительно узла электрических индукционных катушек с поперечным потоком,

при этом соответствующая заготовка имеет противоположные первую и вторую стороны заготовки и первую и вторую кромки заготовки,

при этом узел индукционных катушек с поперечным потоком для индукционного нагрева содержит первую плоскую катушку и вторую плоскую катушку, размещенные в первой общей плоскости, удаленной от первой стороны заготовки и расположенной напротив нее, проходящие между первой и второй кромками заготовки и электрически связанные последовательно,

при этом первая плоская катушка и вторая плоская катушка разнесены в одной плоскости и по меньшей мере одна из первой плоской катушки и второй плоской катушки выполнена с возможностью перемещения в пределах первой общей плоскости для изменения расстояния между ними.

2. Узел индукционных катушек с поперечным потоком по п.1, в котором по меньшей мере одна из первой плоской катушки и второй плоской катушки выполнена с возможностью регулировки для изменения шага катушки.

3. Узел индукционных катушек с поперечным потоком по п.2, в котором первая плоская катушка выполнена из первого отводящего стержня и первого возвратного стержня, проходящих в общем направлении и на расстоянии друг от друга,

причем первый отводящий стержень и первый возвратный стержень физически и электрически связаны с первой оконечной направляющей,

при этом по меньшей мере один из первого отводящего стержня и первого возвратного стержня установлен с возможностью перемещения на первой оконечной направляющей так, что первый отводящий стержень и первый возвратный стержень выполнены с возможностью перемещения друг к другу и друг

от друга для изменения шага катушки первой плоской катушки, и

при этом вторая плоская катушка выполнена из второго отводящего стержня и второго возвратного стержня, проходящих в общем направлении и на расстоянии друг от друга,

причем второй отводящий стержень и второй возвратный стержень связаны со второй оконечной направляющей,

причем по меньшей мере один из второго отводящего стержня и второго возвратного стержня установлен с возможностью перемещения на второй оконечной направляющей так, что второй отводящий стержень и второй возвратный стержень выполнены с возможностью перемещения друг к другу и друг от друга для изменения шага катушки второй плоской катушки.

4. Узел индукционных катушек с поперечным потоком по п.3, в котором каждая из первой плоской катушки и второй плоской катушки связана с первой общей направляющей, причем по меньшей мере одна из первой катушки или второй катушки поддерживается с возможностью перемещения на первой общей направляющей для перемещения к другой из первой или второй катушки или от нее.

5. Узел индукционных катушек с поперечным потоком по п.4, в котором первый возвратный стержень первой катушки и второй отводящий стержень второй катушки связаны с первой общей направляющей, причем по меньшей мере один из первого возвратного стержня и второго отводящего стержня выполнен с возможностью перемещения относительно общей направляющей для изменения расстояния между первой плоской катушкой и второй плоской катушкой.

6. Узел индукционных катушек с поперечным потоком по п.5, также содержащий третью плоскую катушку и четвертую плоскую катушку, размещенные на второй общей плоскости, удаленной от второй стороны заготовки и расположенной напротив нее, проходящие между первой и второй кромками заготовки и электрически связанные последовательно с первой плоской катушкой и второй плоской катушкой.

7. Узел индукционных катушек с поперечным потоком по п.6, в котором

третья плоская катушка и четвертая плоская катушка разнесены в одной плоскости во второй общей плоскости и по меньшей мере одна из третьей плоской катушки и четвертой плоской катушки выполнена с возможностью перемещения в пределах второй общей плоскости для изменения расстояния между ними;

при необходимости по меньшей мере одна из третьей плоской катушки и четвертой плоской катушки выполнена с возможностью регулировки для изменения шага катушки;

также при необходимости третья плоская катушка выполнена из третьего отводящего стержня и третьего возвратного стержня, проходящих в общем направлении и на расстоянии друг от друга, причем третий отводящий стержень и третий возвратный стержень физически и электрически связаны с третьей оконечной направляющей, при этом по меньшей мере один из третьего отводящего стержня и третьего возвратного стержня установлен с возможностью перемещения на третьей оконечной направляющей так, что третий отводящий стержень и третий возвратный стержень выполнены с возможностью перемещения друг к другу и друг от друга для изменения шага катушки третьей плоской катушки; при этом

четвертая плоская катушка выполнена из четвертого отводящего стержня и четвертого возвратного стержня, проходящих в общем направлении и на расстоянии друг от друга, причем четвертый отводящий стержень и четвертый возвратный стержень связаны с четвертой оконечной направляющей, причем по меньшей мере один из четвертого отводящего стержня и четвертого возвратного стержня установлен с возможностью перемещения на четвертой оконечной направляющей так, что четвертый отводящий стержень и четвертый возвратный стержень выполнены с возможностью перемещения друг к другу и друг от друга для изменения шага катушки четвертой плоской катушки;

также при необходимости каждая из третьей плоской катушки и четвертой плоской катушки связана со второй общей направляющей, причем по меньшей мере одна из третьей плоской катушки или четвертой плоской катушки поддерживается с возможностью перемещения на второй общей направляющей для перемещения к другой из третьей или четвертой плоской катушки или от нее;

также при необходимости третий возвратный стержень третьей катушки и четвертый отводящий стержень четвертой катушки связаны со второй общей направляющей, причем по меньшей мере один из третьего возвратного стержня и четвертого отводящего стержня выполнен с возможностью перемещения относительно второй общей направляющей для изменения расстояния между третьей плоской катушкой и четвертой плоской катушкой;

а также при необходимости второй возвратный стержень второй плоской катушки и третий отводящий стержень третьей плоской катушки жестко связаны вместе.

8. Узел индукционных катушек с поперечным потоком по п.1, также содержащий по меньшей мере один электромагнитный экран, размещенный между первой общей плоскостью и первой стороной заготовки и удаленный от них и обращенный по меньшей мере к одной из первой и второй кромок заготовки, при этом по меньшей мере один электромагнитный экран выполнен с возможностью перемещения в поперечном направлении соответствующей заготовки.

9. Узел индукционных катушек с поперечным потоком для индукционного нагрева по меньшей мере участка соответствующей плоской заготовки, перемещающейся вдоль направления обработки относительно узла электрических индукционных катушек с поперечным потоком,

при этом соответствующая заготовка имеет противоположные первую и вторую стороны заготовки

и первую и вторую кромки заготовки,

при этом узел индукционных катушек с поперечным потоком для индукционного нагрева содержит первую плоскую катушку и вторую плоскую катушку, размещенные в первой общей плоскости, удаленной от первой стороны заготовки и расположенной напротив нее, проходящие между первой и второй кромками заготовки и электрически связанные последовательно,

при этом по меньшей мере одна из первой плоской катушки и второй плоской катушки выполнена с возможностью регулировки для изменения шага катушки.

10. Узел индукционных катушек с поперечным потоком по п.9, в котором

первая плоская катушка выполнена из первого отводящего стержня и первого возвратного стержня, проходящих в общем направлении и на расстоянии друг от друга, причем первый отводящий стержень и первый возвратный стержень физически и электрически связаны с первой оконечной направляющей, при этом по меньшей мере один из первого отводящего стержня и первого возвратного стержня установлен с возможностью перемещения на первой оконечной направляющей так, что первый отводящий стержень и первый возвратный стержень выполнены с возможностью перемещения друг к другу и друг от друга для изменения шага катушки первой плоской катушки; и при этом

вторая плоская катушка выполнена из второго отводящего стержня и второго возвратного стержня, проходящих в общем направлении и на расстоянии друг от друга, причем второй отводящий стержень и второй возвратный стержень связаны со второй оконечной направляющей, причем по меньшей мере один из второго отводящего стержня и второго возвратного стержня установлен с возможностью перемещения на второй оконечной направляющей так, что второй отводящий стержень и второй возвратный стержень выполнены с возможностью перемещения друг к другу и друг от друга для изменения шага катушки второй плоской катушки.

11. Узел индукционных катушек с поперечным потоком по п.10, также содержащий третью плоскую катушку и четвертую плоскую катушку, размещенные во второй общей плоскости, удаленной от второй стороны заготовки и расположенной напротив нее, проходящие между первой и второй кромками заготовки и электрически связанные последовательно с первой плоской катушкой и второй плоской катушкой.

12. Узел индукционных катушек с поперечным потоком по п.11, в котором по меньшей мере одна из третьей плоской катушки и четвертой плоской катушки выполнена с возможностью регулировки для изменения шага катушки.

13. Узел индукционных катушек с поперечным потоком по п.12, в котором третья плоская катушка выполнена из третьего отводящего стержня и третьего возвратного стержня, проходящих в общем направлении и на расстоянии друг от друга,

причем третий отводящий стержень и третий возвратный стержень физически и электрически связаны с третьей оконечной направляющей,

при этом по меньшей мере один из третьего отводящего стержня и третьего возвратного стержня установлен с возможностью перемещения на третьей оконечной направляющей так, что третий отводящий стержень и третий возвратный стержень выполнены с возможностью перемещения друг к другу и друг от друга для изменения шага катушки третьей плоской катушки,

при этом четвертая плоская катушка выполнена из четвертого отводящего стержня и четвертого возвратного стержня, проходящих в общем направлении и на расстоянии друг от друга,

причем четвертый отводящий стержень и четвертый возвратный стержень связаны с четвертой оконечной направляющей,

причем по меньшей мере один из четвертого отводящего стержня и четвертого возвратного стержня установлен с возможностью перемещения на четвертой оконечной направляющей так, что четвертый отводящий стержень и четвертый возвратный стержень выполнены с возможностью перемещения друг к другу и друг от друга для изменения шага катушки четвертой плоской катушки.

14. Способ индукционного нагрева соответствующей полосовой заготовки, включающий

подачу тока в узел электрических индукционных катушек с поперечным потоком для индукционного нагрева по меньшей мере участка соответствующей полосовой заготовки, перемещающейся вдоль направления обработки относительно узла электрических индукционных катушек с поперечным потоком,

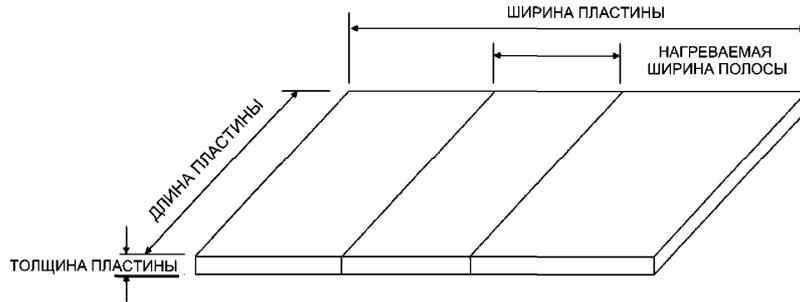
при этом соответствующая заготовка имеет противоположные первую и вторую стороны заготовки и первую и вторую кромки заготовки,

при этом узел индукционных катушек с поперечным потоком для индукционного нагрева содержит первую плоскую катушку и вторую плоскую катушку, размещенные в первой общей плоскости, удаленной от первой стороны заготовки и расположенной напротив нее, проходящие между первой и второй кромками заготовки и электрически связанные последовательно,

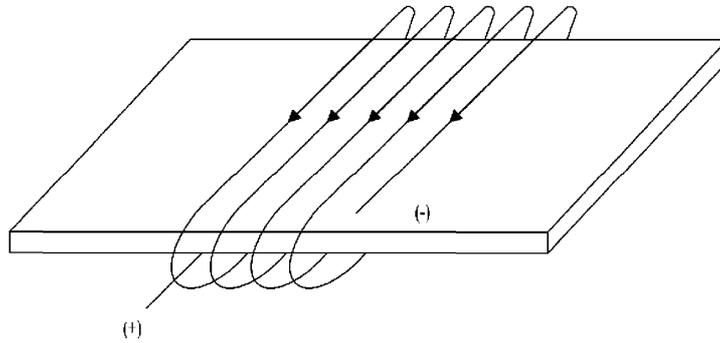
при этом первая плоская катушка и вторая плоская катушка разнесены в одной плоскости и по меньшей мере одна из первой плоской катушки и второй плоской катушки выполнена с возможностью перемещения в пределах первой общей плоскости для изменения расстояния между ними; и

регулировку расстояния между первой и второй катушками.

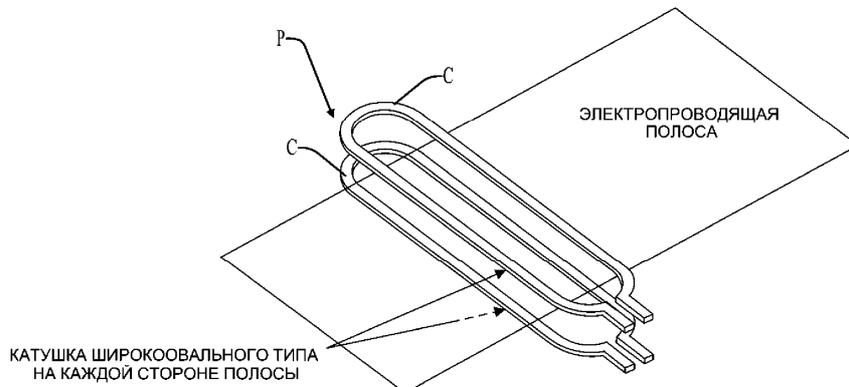
15. Способ по п.14, в котором по меньшей мере одна из первой плоской катушки и второй плоской катушки выполнена с возможностью регулировки для изменения шага катушки, а способ также включает регулировку шага по меньшей мере одной из катушек.



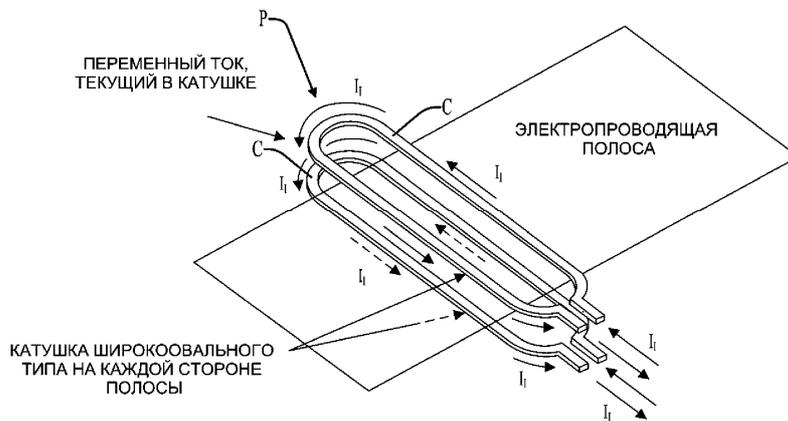
Фиг. 1



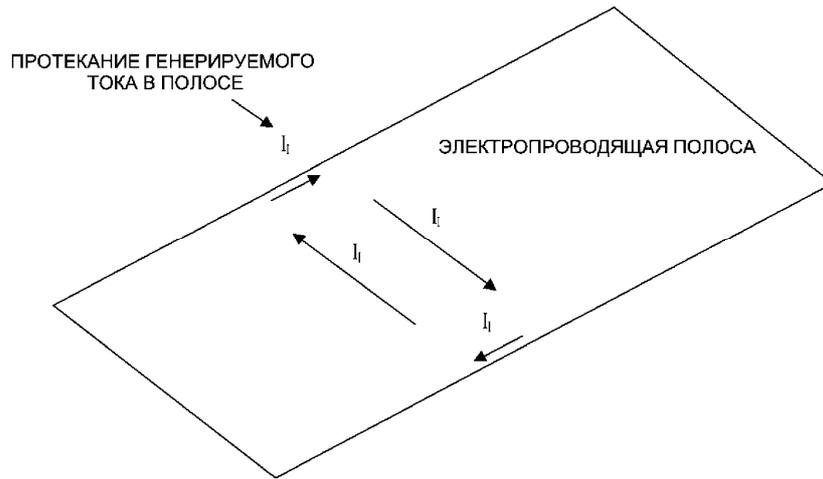
Фиг. 2



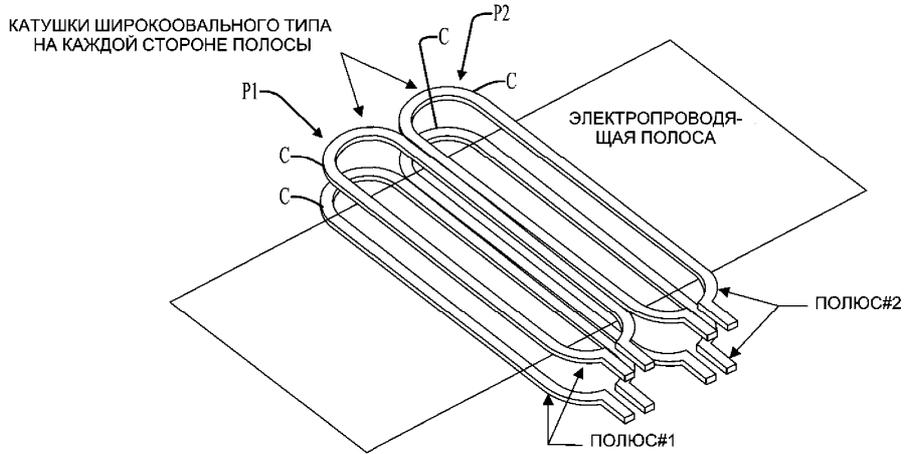
Фиг. 3



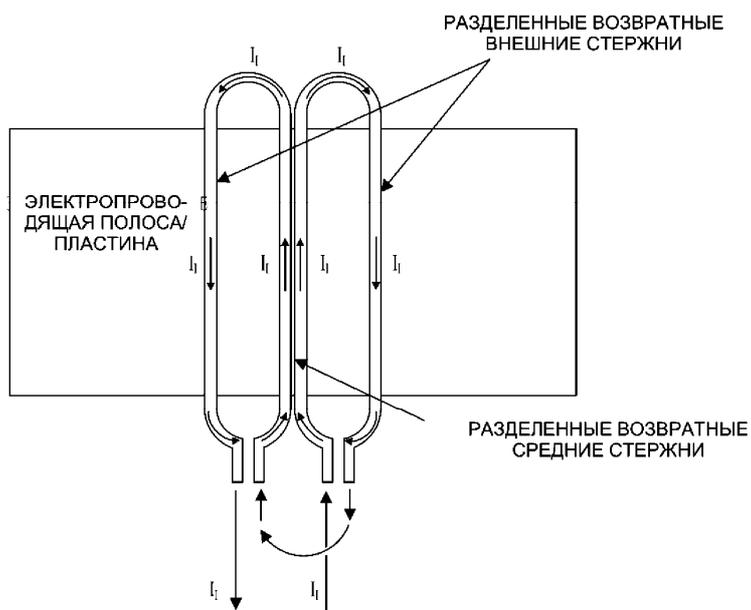
Фиг. 4



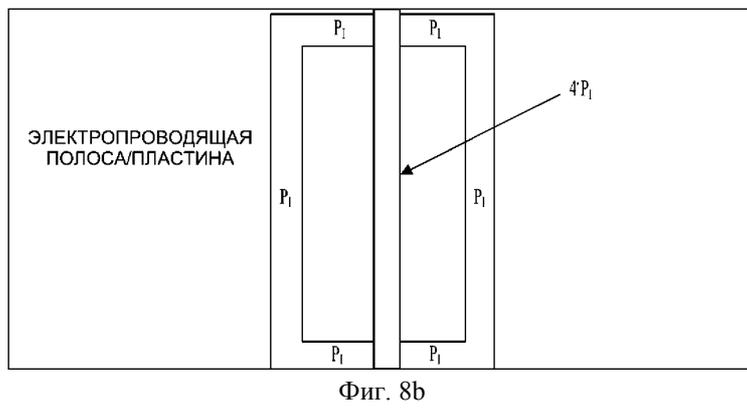
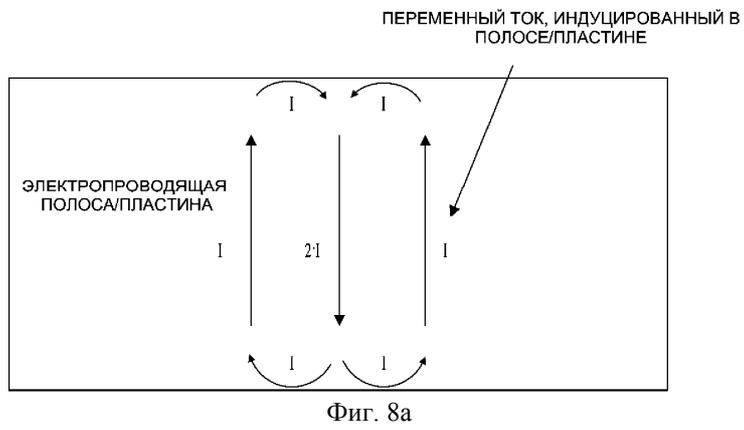
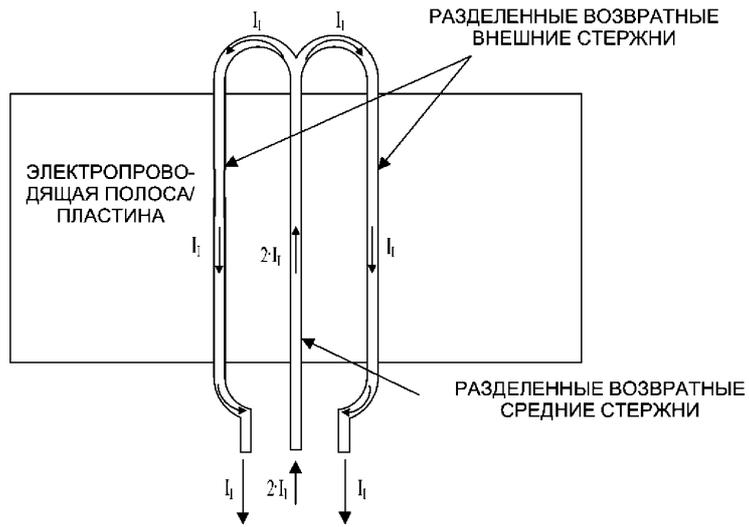
Фиг. 5

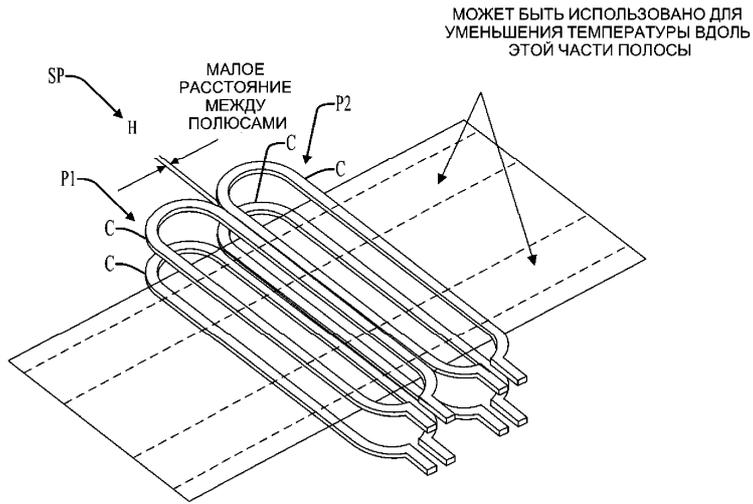


Фиг. 6

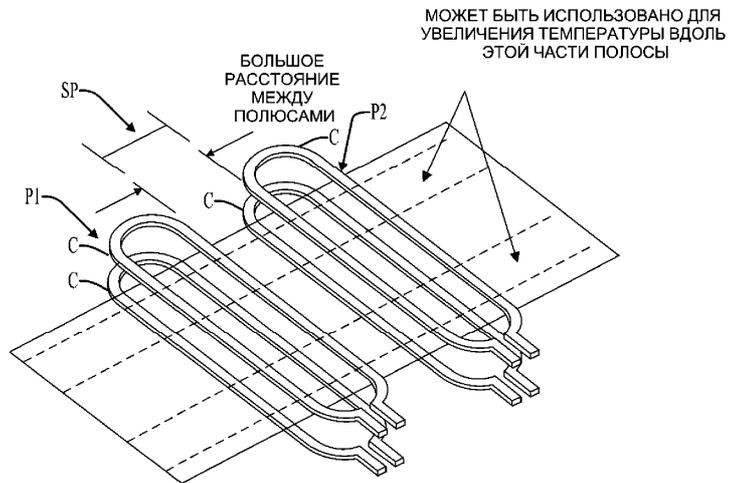


Фиг. 7а

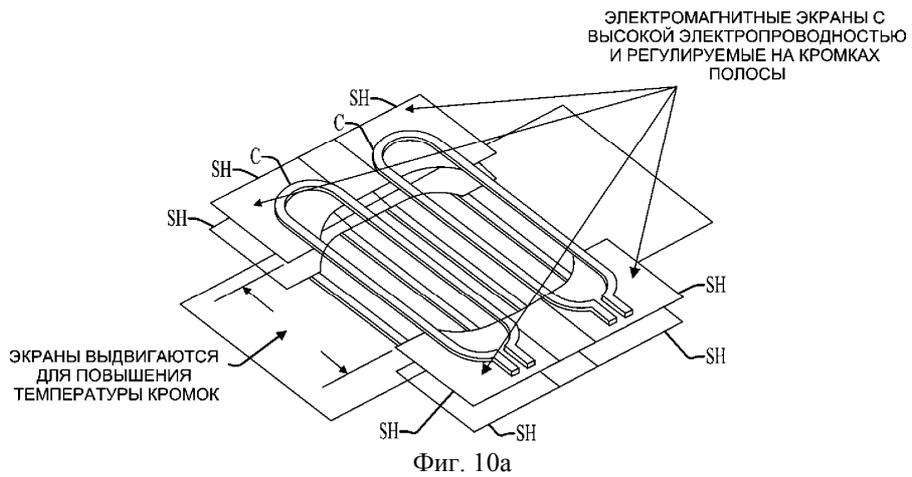




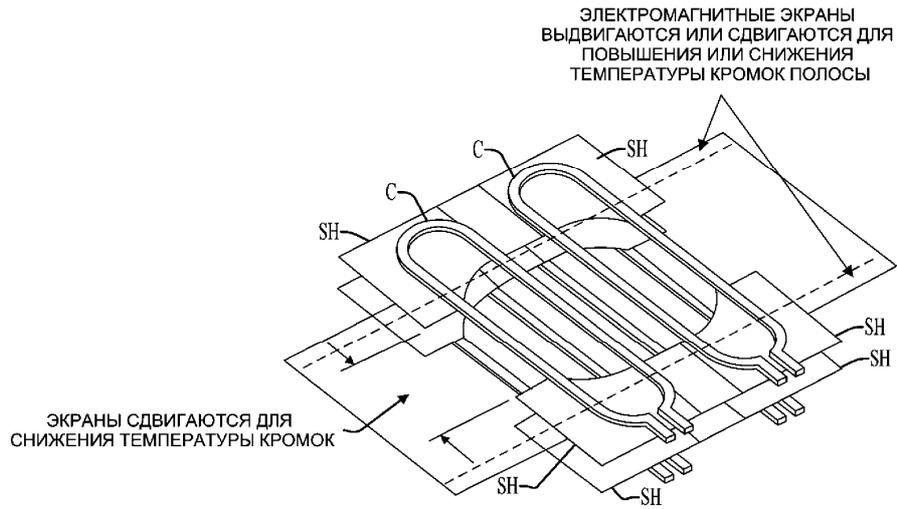
Фиг. 9а



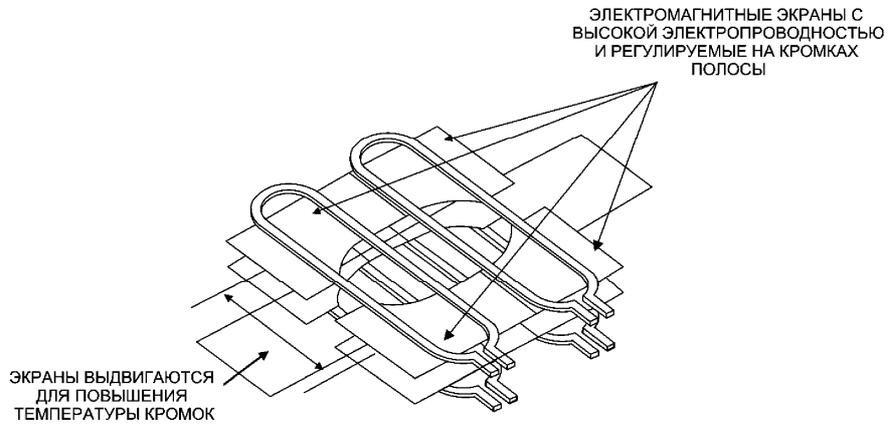
Фиг. 9b



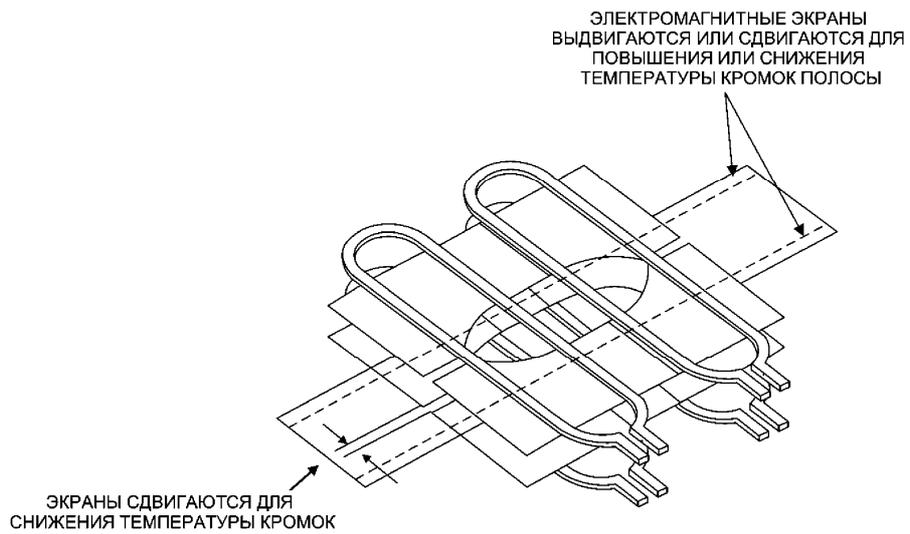
Фиг. 10а



Фиг. 10b

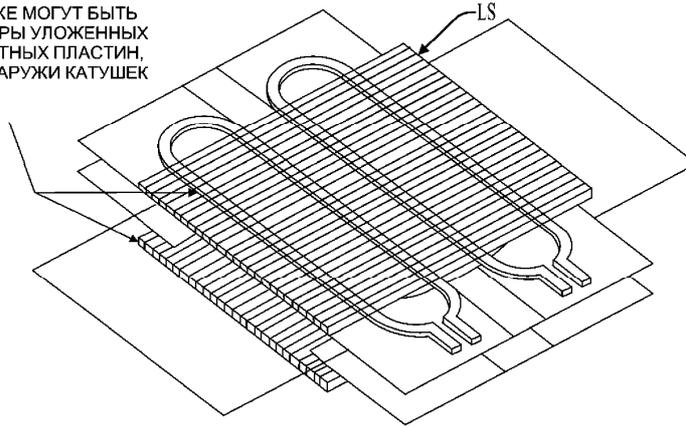


Фиг. 11a

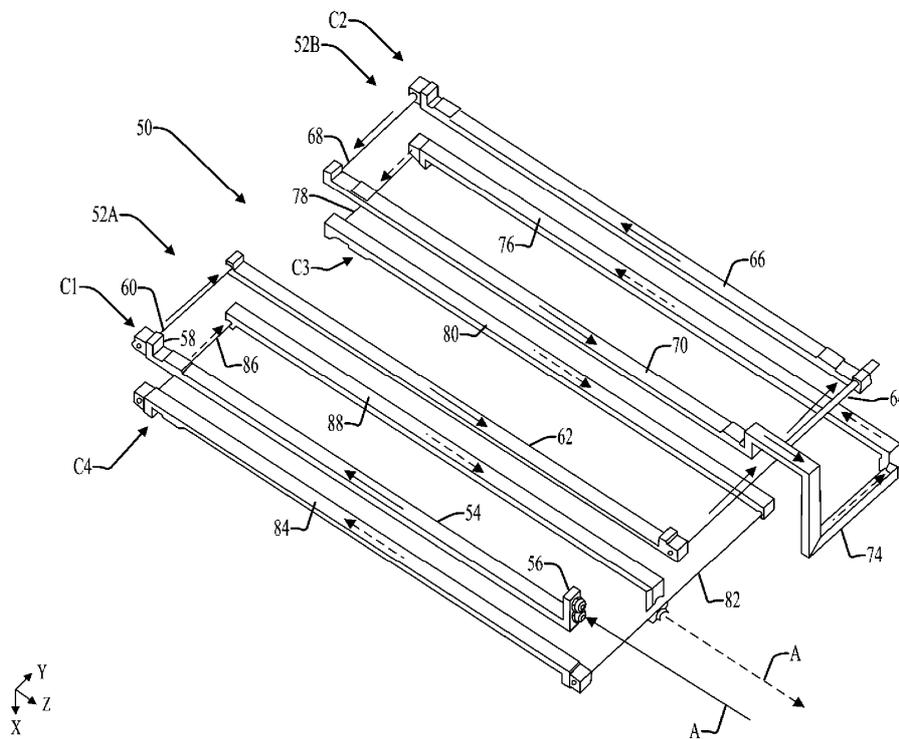


Фиг. 11b

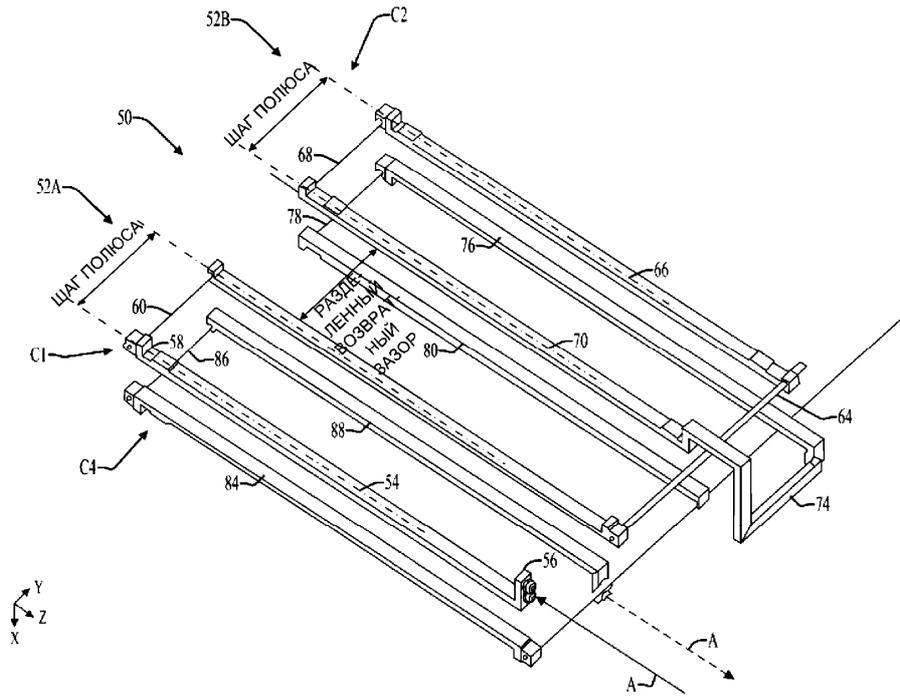
В КОНСТРУКЦИИ ТАКЖЕ МОГУТ БЫТЬ
ИСПОЛЬЗОВАНЫ НАБОРЫ УЛОЖЕННЫХ
ДРУГ НА ДРУГА МАГНИТНЫХ ПЛАСТИН,
РАСПОЛОЖЕННЫХ СНАРУЖИ КАТУШЕК



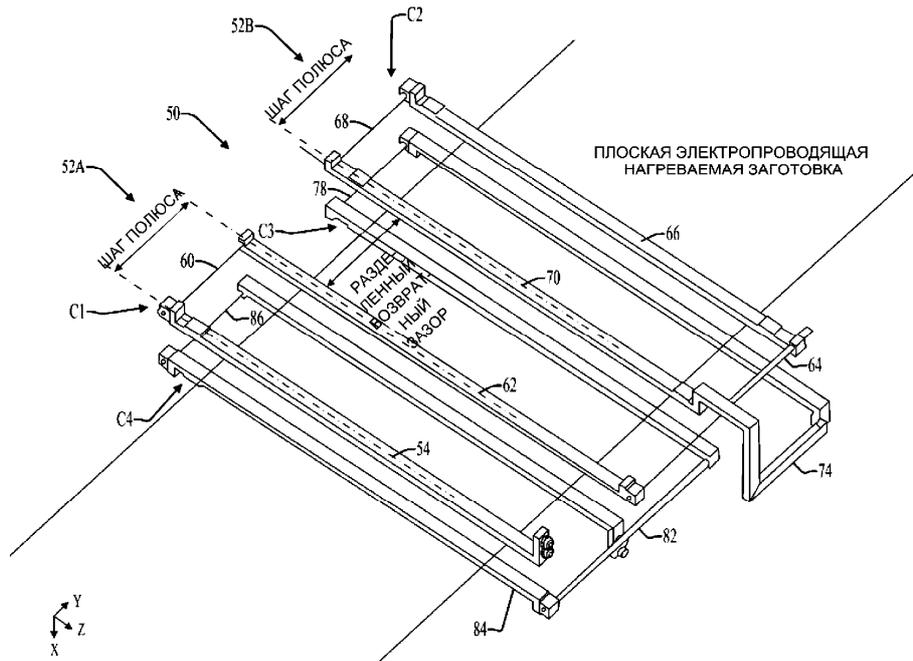
Фиг. 12



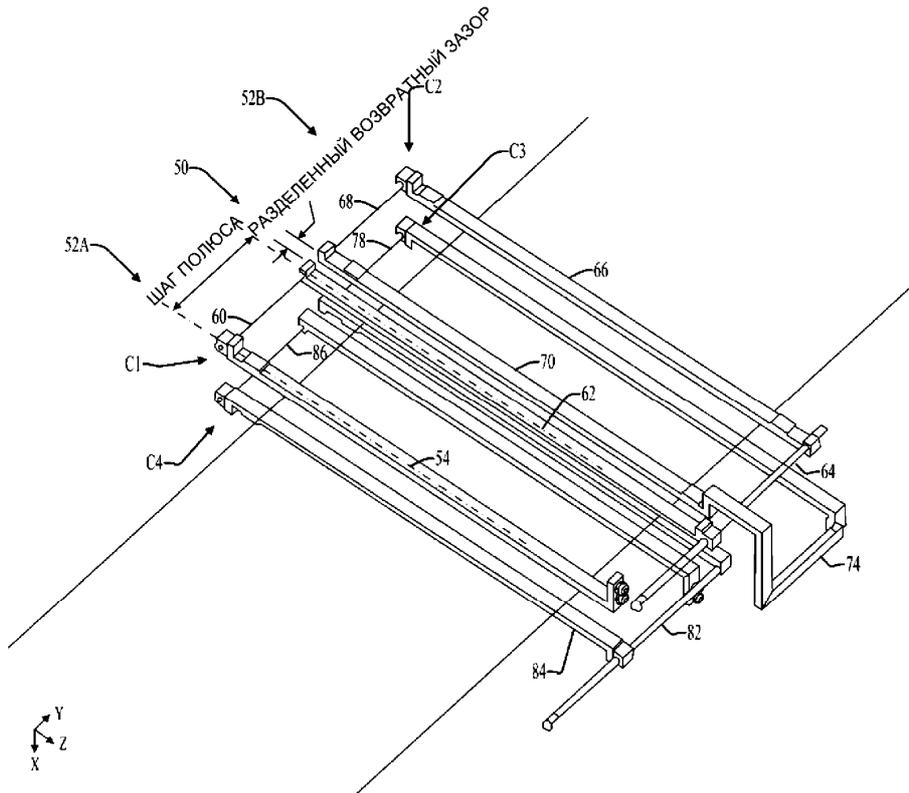
Фиг. 13



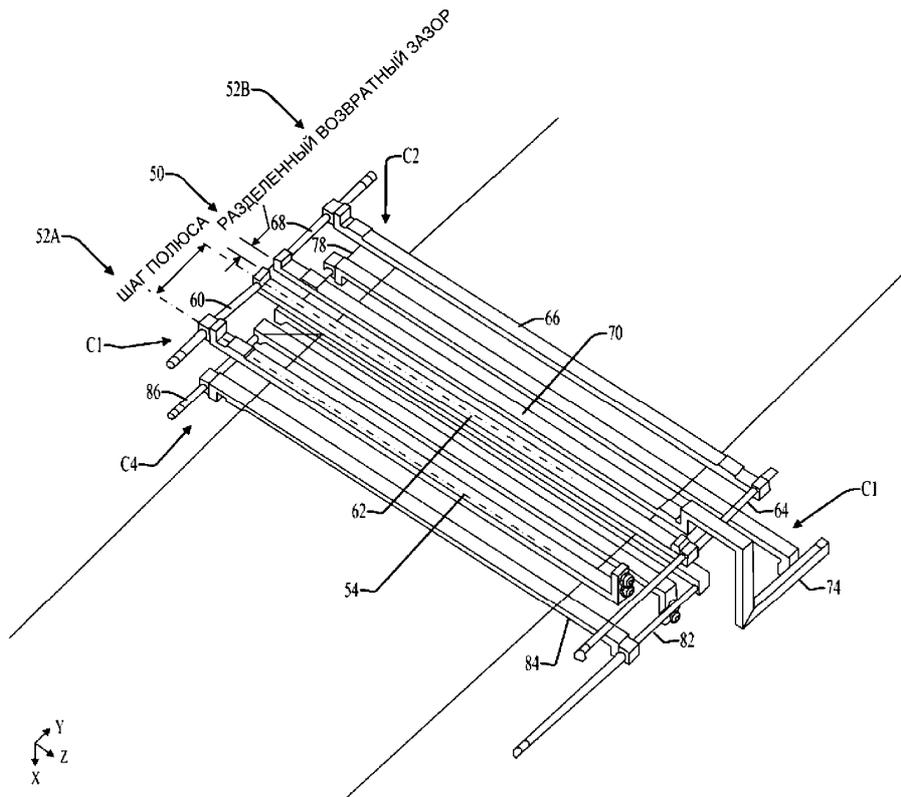
Фиг. 14



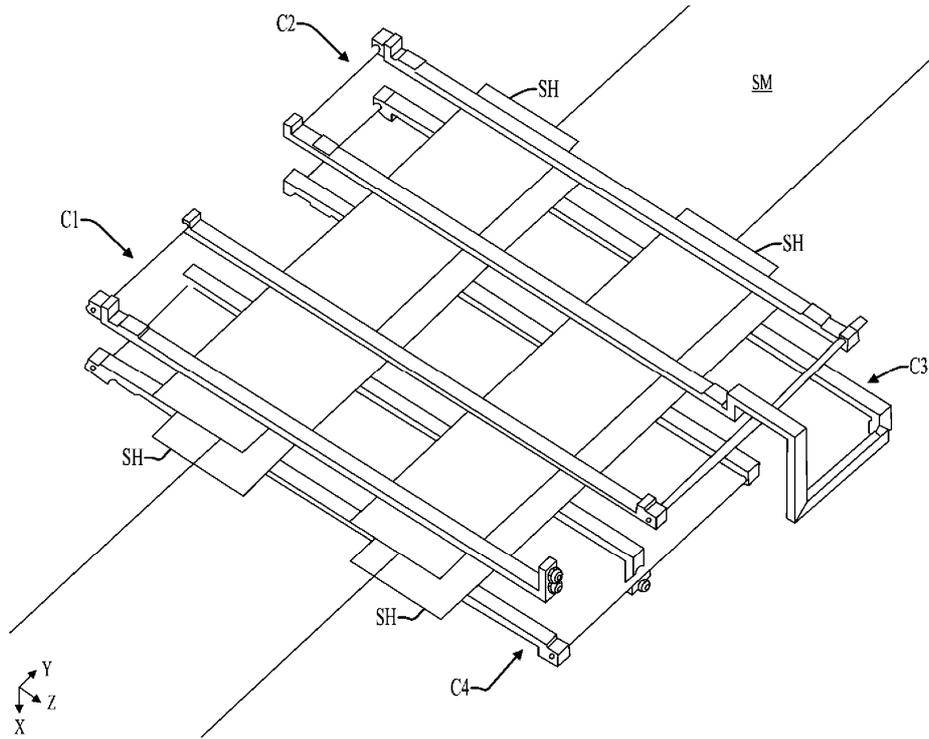
Фиг. 15



Фиг. 16

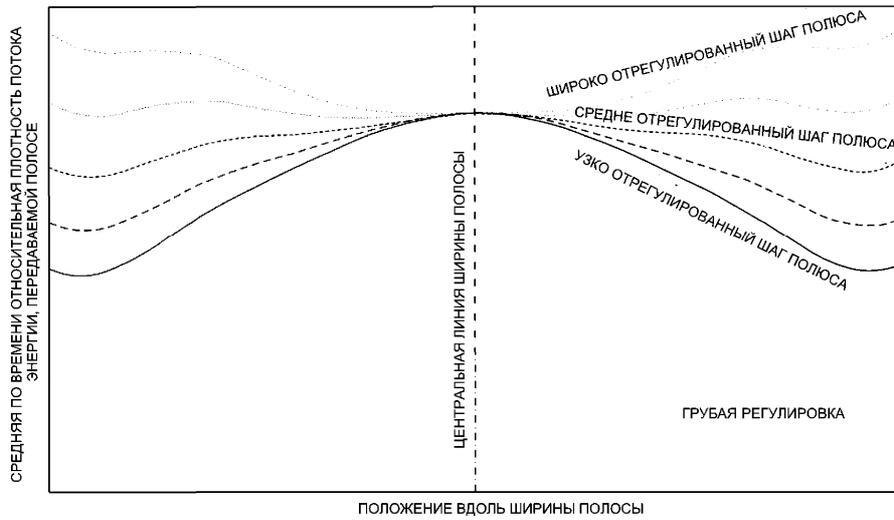


Фиг. 17



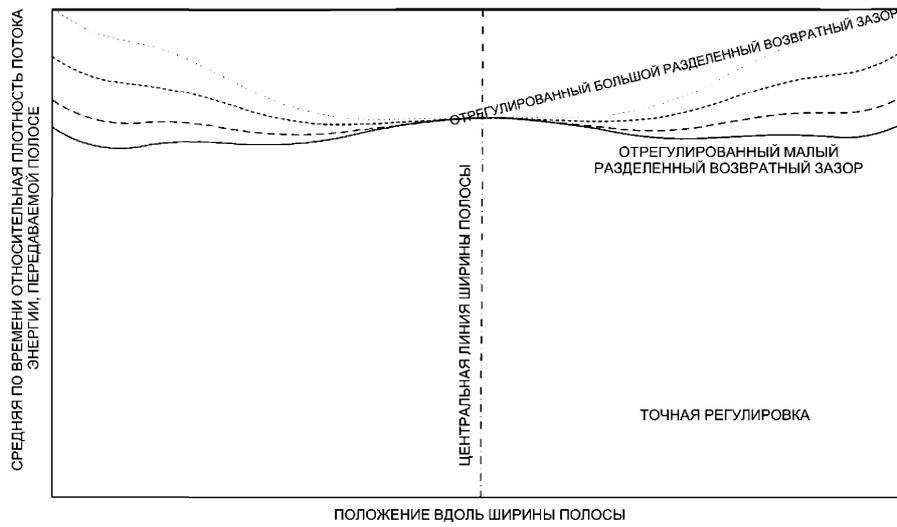
Фиг. 20

ЭФФЕКТЫ РЕГУЛИРОВКИ ШИРИНЫ ШАГА ПОЛЮСА



Фиг. 21

ЭФФЕКТЫ РЕГУЛИРОВКИ РАЗДЕЛЕННОГО ВОЗВРАТНОГО ЗАЗОРА



ЭФФЕКТЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ЭКРАНА ПРИ РЕГУЛИРОВКЕ ПЕРЕКРЫТИЯ ПОЛОСЫ

