

Изобретение относится к производству тонколистового металла путем разливки расплава в зазор между непрерывно вращающимися валками, в частности к устройству и способу электромагнитного удержания расплавленного металла в зоне открытого зазора между валками.

Известны установки непрерывной разливки расплавленного металла непосредственно в полосу, например стальную полосу. Такие устройства обычно содержат пару горизонтально разнесенных валков, смонтированных для вращения в противоположных направлениях вокруг соответствующих горизонтальных осей. Эти два валка образуют горизонтально расположенный простирающийся вертикально зазор между ними для приема расплавленного металла. Зазор, ограниченный валками, уменьшается конусообразно в направлении вниз. Валки охлаждаются и в свою очередь охлаждают расплавленный металл во время его опускания через зазор.

Зазор имеет открытые противоположные стороны у концов обоих валков, имеющие протяженность в горизонтальном направлении. Расплавленный металл не удерживается валками со стороны открытых концов зазора. Для предотвращения утечки расплавленного металла наружу через, открытые концы зазора применяются механические преграды или уплотнения.

Механические преграды имеют недостатки, обусловленные тем, что преграда находится в физическом контакте как с вращающимися валками, так и с расплавленным металлом. В результате преграда подвержена износу, протечкам и поломкам и может приводить к замерзанию и большим температурным градиентам в расплавленном металле. Более того, контакт между механической преградой и затвердевающим металлом может вызывать неоднородности вдоль краев отлитой металлической полосы, тем самым сводя на нет преимущества непрерывной разливки перед обычным способом прокатки металлической полосы из более густой, твердой заготовки.

Для устранения недостатков, присущих применению механических преград или уплотнений, предпринимаются усилия удерживать расплавленный металл на открытом конце зазора между валками применением электромагнита, имеющего сердечник, окруженный электропроводной катушкой, через которую течет электрический ток, и имеющий пару полюсов вблизи открытого конца зазора.

Магнит возбуждается течением переменного тока через катушку и создает переменное, или меняющееся во времени, магнитное поле, распространяющееся через открытый конец зазора между полюсами магнита. Магнитное поле может быть расположено либо горизонтально, либо вертикально, в зависимости от расположения полюсов магнита. Пример магнита, создающего вертикальное магнитное поле, описан в патенте США №4974661.

Переменное магнитное поле наводит вихревые токи в расплавленном металле вблизи открытого конца зазора, создавая силу отталкивания, которая оттесняет расплавленный металл от магнитного поля, созданного магнитом, и таким образом оттесняет его от открытого конца

зазора.

Сила статического давления, вынуждающая расплавленный металл выходить наружу через открытый конец зазора между валками, возрастает с ростом глубины расплавленного металла, и магнитное давление, оказываемое переменным магнитным полем, должно быть достаточным, чтобы противодействовать максимальному направленному наружу давлению, оказываемому на расплавленный металл.

Известно устройство и способ удержания расплавленного металла в зазоре между вращающимися валками путем наведения горизонтального магнитного поля (Патент США №4936374). При горизонтальном расположении электромагнитных полей магнитное удержание боковой стенки расплавленного металла на открытом конце зазора достигается, согласно описанию уровня техники тем, что обеспечивает потоку путь с низким магнитным сопротивлением вблизи конца каждого валка (кромочный участок валка). Устройство из уровня техники включает в себя электромагнит для создания переменного магнитного поля, которое прикладывается через кромочный участок валков к боковой стенке расплавленного металла, удерживаемого валками. Для эффективного приложения магнитного поля каждый полюс магнита должен простирается вдоль оси, относительно валков, и очень близко подходить к концу соответствующего валка, чтобы быть вблизи обладающего низким магнитным сопротивлением кромочного участка валка и отделяться от этого кромочного участка только небольшим радиальным воздушным зазором. Для эффективной работы путь магнитного потока с низким магнитным сопротивлением в кромочном участке валка обычно образуют из материала с высокой магнитной проницаемостью.

Способы и устройства электромагнитного удержания, относящиеся к известному уровню техники, имеют несколько недостатков:

1) Достижимая пиковая плотность магнитного потока ограничена насыщением материала с высокой магнитной проницаемостью в кромочных участках валков или в тех случаях применения, когда краевые участки не содержат материала с высокой магнитной проницаемостью, насыщением полюсов электромагнита. Решения из известного уровня техники, использующие тонкие пластины из кремнистой стали с ориентированным зерном, ограничивают горизонтальное поле величиной приблизительно 18кГс (килогасс). Это в свою очередь ограничивает высоту ванны расплавленного металла, которая может быть удержана электромагнитно. В дополнение к этому, при этих высоких плотностях магнитного потока потери тепла как в пластинах валков, так и в пластинах полюсов магнита вблизи захвата становятся чрезмерными, для пластин толщиной 0,002 дюйма (0,051мм), работающих при 18кГс и 3кГц (килогерц), потери составляют около 300В на фунт (660,8В/кг).

2) Кромочные участки валков, обладающие низким магнитным сопротивлением, трудно охлаждать, что усложняет и удорожает конструкцию валков.

3) Ванна расплавленного металла вызывает тепловое расширение валков, что в свою очередь вызывает напряжение и деформацию и/или

пространственные изменения в пути потока валковых кромок, обладающем низким магнитным сопротивлением, изменяя их магнитное сопротивление и тем самым и рабочие характеристики процесса электромагнитного удержания.

4) В случае расстройств системы питания расплавленным металлом или аварийного отключения энергопитания электромагнита расплавленный металл (при температуре около 1540° для стали) будут контактировать с кромочным участком, имеющим низкое магнитное сопротивление, что вызывает необходимость предусматривать конструкцию кромки, стойкой к высокой температуре расплавленного металла. Высокотемпературная конструкция кромок валков ухудшает их низкое магнитное сопротивление и, что весьма вероятно, повышает издержки на их производство.

В качестве прототипа заявляемого изобретения принято устройство магнитного удержания расплавленного металла от утечки через открытую сторону вертикально простирающегося зазора между двумя расположенными в горизонтальной плоскости вращающимися элементами, содержащее электропроводную катушку, соединенную с магнитным сердечником, включающим в себя пару полюсов (Патент США №4020890, кл. B22D11/00). Устройство предусматривает размещение рядом с открытым концом зазора катушки, через которую течет переменный ток. Вследствие этого катушка создает магнитное поле, которое наводит вихревые токи в расплавленном металле вблизи открытого конца зазора, в результате чего возникает сила отталкивания, аналогичная той, которая описана выше в связи с магнитным полем, создаваемым электромагнитом.

За прототип заявляемого изобретения принят также способ магнитного удержания расплавленного металла от утечки через открытую сторону вертикально простирающегося зазора между двумя расположенными в горизонтальной плоскости вращающимися элементами путем образования магнитного поля от полюсов магнитного сердечника, соединенного с электропроводной катушкой (Патент США №402089, кл. B22D11/00).

Недостатком известного устройства является то, что лишь часть создаваемого электромагнитом поля участвует в наведении вихревых токов и создании силы отталкивания расплавленного металла от магнитного поля. Значительная часть магнитного потока рассеивается вокруг зоны открытого зазора между валками, поэтому для получения достаточной силы удержания расплавленного металла необходимо увеличивать напряжение энергопитания.

Плоские боковые поверхности краев валков не позволяют увеличить силу магнитного давления (удерживающую силу) на находящийся в зазоре расплавленный металл без увеличения магнитного потока, т.е. без увеличения энергозатрат. С учетом того, что большие зазоры (большие глубины ванны) требуют больших магнитных полей, генерирование удерживающей силы значительной величины в известном устройстве потребует соответствующих больших

энергозатрат.

Кроме того, материал боковых поверхностей вращающихся элементов (валков) не оказывает существенного влияния на интенсивность проницаемости магнитного поля.

Недостаток известного способа заключается в отсутствии каких-либо приемов, предотвращающих потери магнитного потока при генерировании удерживающей расплав силы. В связи с этим удержание расплавленного металла в известном способе требует генерирования магнитного потока большой плотности, что увеличивает энергоемкость процесса.

В основу заявляемого изобретения поставлена задача снижения потерь магнитного потока и уменьшения энергоемкости устройства магнитного удержания расплавленного металла путем снабжения устройства внутренним и наружным немагнитными электропроводными экранами и придания им конфигурации, соответствующей форме открытой стороны зазора, выполнения скосов на краях валков, соответствующих форме скосов внутреннего экрана, а также путем закрепления на боковых поверхностях валков ферромагнитного материала, что обеспечивает локализацию магнитного потока и создание конфигурированного магнитного поля между полюсными поверхностями, и тем самым уменьшает его утечку, позволяет повысить величину магнитного давления вблизи боковой стенки и внутреннего экрана без повышения мощности магнитного поля, а также увеличить магнитную проницаемость боковых стенок валков.

В основу изобретения поставлена также задача повышения рентабельности способа магнитного удержания расплавленного металла путем расположения немагнитного электропроводного экрана между полюсами магнита, что позволяет локализовать магнитный поток к открытой стороне зазора и уменьшить его рассеивание.

Поставленная задача решается тем, что в устройстве магнитного удержания расплавленного металла от утечки через открытую сторону вертикально простирающегося зазора между двумя расположенными в горизонтальной плоскости элементами, между которыми находится расплавленный металл, согласно изобретения, полюса магнитного сердечника размещены в горизонтальной плоскости с промежутком со стороны открытого зазора, а между полюсами магнита расположен внутренний немагнитный электропроводный экран, конфигурированный для направления горизонтального магнитного поля через зазор к расплавленному металлу.

Устройство содержит наружный немагнитный электропроводный экран, при этом магнитный сердечник и катушка размещены между внутренним и наружным экранами, а внутренний экран расположен параллельно открытой стороне зазора.

Полюса магнита имеют верхние и нижние участки, и внутренний экран выполнен большим открытой стороны вертикально простирающегося зазора и вертикального расстояния между верхним и нижним участками полюсов магнита.

Каждый из двух элементов устройства содержит скошенный край у зазора, а внутренний экран содержит два скошенных края, каждый из

которых параллелен одному из скошенных краев элементов.

Наружный экран включает в себя средства для заключения магнитного сердечника и катушки между внутренним и наружным экраном, при этом полюса магнита открыты с открытой стороны зазора.

Два элемента представляют собой вращающиеся валки, имеющие параллельные оси, а магнитный сердечник расположен вертикально со стороны открытого зазора, катушка содержит множество вертикально расположенных витков, намотанных на магнитный сердечник, и немагнитный внутренний экран содержит проводящий материал, внутренняя поверхность которого расположена со стороны открытого зазора между полюсами магнита. При этом расположенные с промежутком полюса магнита выполнены сходящимися книзу к открытому зазору, и с шириной промежутка между ними, уменьшающейся книзу в соответствии с уменьшением ширины открытой стороны зазора.

Внутренний экран имеет переднюю поверхность, расположенную со стороны открытого зазора и пару сходящихся книзу боковых стенок, определяющих форму внутреннего экрана в соответствии с формой открытой стороны зазора, причем зазор между элементами меньше или равен промежутку между полюсами магнита.

Каждый элемент снабжен накладками из ферромагнитного материала, закрепленными на торцевых поверхностях рядом с электропроводными экранами, а накладки из ферромагнитного материала выполнены в виде дисков или пластин, или в виде их комбинаций.

Кроме того, каждый из элементов имеет боковой край, очерчивающий край открытой стороны зазора, и боковой краевой участок, примыкающий к боковому краю, а внутренний экран имеет пару расположенных в горизонтальной плоскости с промежутком внешних краев и примыкающий к ним внешний краевой участок, причем промежуток между двумя внешними краями внутреннего экрана больше, чем расстояние по горизонтали между двумя боковыми краями элементов, а каждый внешний краевой участок на внутреннем экране расположен с промежутком относительно соответствующего бокового краевого участка элемента, при этом каждый из упомянутых участков содержит средства, создающие магнитный поток повышенной плотности в промежутке и в магнитном поле, простирающемся по открытой стороне зазора.

Внутренний экран и по меньшей мере краевые участки элементов состоят из металла, имеющего высокую электропроводность.

Катушка и внутренний экран могут быть также выполнены из металла, выбранного из группы, состоящей из меди, алюминия, серебра, нержавеющей стали и сплавов, содержащих, по меньшей мере, один металл.

Внутренний экран имеет форму, соответствующую форме открытой стороны зазора, кроме того, устройство содержит средства, включающие конфигурацию полюсов магнита для создания повышенной плотности магнитного потока в соответствии с увеличивающимся давлением расплавленного

металла в направлении зазора.

Поверхность каждого из полюсов магнита перпендикулярна одной из осей элементов либо расположена под углом относительно одной из осей элементов.

Краевая поверхность элементов и поверхности полюсов магнита могут быть параллельны между собой и расположены с промежутком относительно друг друга и под углом относительно осей элементов.

Полюса магнита и внутренний экран выполнены выступающими в открытый конец зазора между элементами, которые имеют расширяющиеся к магнитному сердечнику вырезанные края для приближения полюсов магнита в открытый конец зазора внутри вырезанных краев.

Магнитный сердечник и полюса магнита образованы из пластин ферромагнитного материала.

Каждый полюс магнита имеет полюсную поверхность, расположенную перпендикулярно к продольной оси одного из элементов, а сердечник, полюса и внутренний экран охвачены проводящим материалом за исключением горизонтального интервала, препятствующего проводящему материалу стать короткозамкнутым витком вокруг сердечника, при этом проводящий материал содержит средства для удержания магнитного потока, испускаемого полюсами магнита, и для формирования магнитного поля между полюсными поверхностями, а катушка расположена с возможностью охвата проводящего материала, заключающего в себя сердечник, причем проводящий материал и боковой край элементов содержат средства, формирующие переменное магнитное поле.

Полюсные поверхности и поверхность проводящего материала, примыкающая к открытой стороне зазора, перпендикулярны осям элементов.

Проводящий экран, расположенный между полюсными поверхностями, содержит средства, выступающие в сторону расплавленного металла дальше, чем полюсные поверхности.

Каждый элемент имеет боковую стенку, расположенную со стороны зазора, а устройство включает множество заключенных в электромагнитные экраны магнитных сердечников для собирания и сжатия магнитного потока в боковых стенках элементов, образующих зазор, причем заключенные в электромагнитные экраны магнитные сердечники расположены с возможностью образования потока удержания с плотностью, большей плотности потока насыщения полюсов магнита.

Поверхности полюсов магнита и внутреннего экрана смежны и параллельны боковым стенкам элементов и открытой стороне зазора, причем внутренний экран имеет поверхность, выступающую к открытой стороне зазора дальше, чем полюсные поверхности.

Магнитный сердечник, находящийся со стороны внутреннего экрана, расположен с возможностью образования магнитного потока с плотностью, большей, чем плотность магнитного потока, создаваемого магнитным сердечником, расположенным дальше в сторону от внутреннего экрана за упомянутым сердечником, причем каждый магнитный сердечник имеет вырезанный

участок треугольной формы, содержащий средства для создания магнитного потока постоянной плотности на каждом полюсе магнита, а вырезанные участки в каждом магнитном сердечнике имеют размеры, обеспечивающие создание идентичного магнитного поля на каждой полюсной поверхности магнита.

Полюса магнита и участок магнитного сердечника изготовлены из изогнутых лентонавитых цилиндров, разрезанных на секции и расположенных в прямую линию.

Кроме того, устройство магнитного удержания расплавленного металла от утечки через открытую сторону вертикально простирающегося зазора между двумя расположенными в горизонтальной плоскости элементами, согласно изобретению, содержит закрепленный на элементах со стороны открытого зазора кольцеобразный ферромагнитный материал, и стационарный магнит, размещенный со стороны открытого зазора, а также конфигурированный внутренний электропроводный экран, размещенный со стороны зазора между полюсами магнита, причем кольцеобразный ферромагнитный материал включает в себя тонкие изолированные диски и имеет форму тороида, причем тороиды закреплены на элементах посредством медных цилиндров.

Кольцеобразный ферромагнитный материал включает в себя множество ферромагнитных тороидов, помещенных в медные цилиндры и экранируемых последними на их поверхности.

Поверхности тороидов и полюсные поверхности стационарного магнита параллельны осям элементов либо расположены под углом относительно осей элементов.

Закрепленный на элементах кольцеобразный ферромагнитный материал включает в себя множество ферромагнитных изолированных друг от друга пластин, ориентированных горизонтально и обеспечивающих путь с низким магнитным сопротивлением для потока в радиальном направлении и путь с высоким магнитным сопротивлением в азимутальном направлении к открытой стороне зазора.

Пластины выполнены сходящимися на конус от стационарного магнита к краю элемента и установлены с возможностью контакта с краем элемента либо с отступом от края элемента для возбуждения магнитного потока, проникающего через край элемента.

Пластины выполнены сходящимися на конус и конфигурированы для обеспечения частичного контакта с краем вала для осуществления проникновения существенной части магнитного потока в элемент вблизи его края.

Кроме того, устройство магнитного удержания расплавленного металла от утечки через открытую сторону вертикально простирающегося зазора между двумя расположенными в горизонтальной плоскости элементами, содержащее магнит в виде электропроводной катушки на магнитном сердечнике с двумя с промежутком установленными и взаимодействующими полюсами, размещенный рядом с открытой стороной зазора, согласно изобретения, снабжено профильным внутренним экраном, расположенным между полюсами магнита рядом с зазором.

Часть одновитковой проводящей катушки

расположена со стороны открытого зазора, а ее форма приспособлена для формирования магнитного поля между полюсами поверхности магнита и боковой стенкой расплавленного металла.

В каждом катушечном выводе выполнены прорезы для обеспечения равномерного распределения тока через катушку, сама катушка изготовлена из высокоэлектропроводных металлических листов, при этом толщина каждого листа в 4 раза меньше глубины магнитной проницаемости проводящего элемента на рабочей частоте магнита.

Магнит и полюса охвачены множеством вложенных один в другой одновитковых катушечных агрегатов, расположенных соосно и подключенных к источнику питания параллельно или последовательно.

Проводник, расположенный со стороны открытого зазора, имеет форму, обеспечивающую создание конфигурированного магнитного поля между полюсными поверхностями магнита и боковыми стенками расплавленного металла.

Катушка также может быть изготовлена из высокоэлектропроводных металлических листов, при этом толщина листа в 4 раза меньше глубины магнитной проницаемости проводящего элемента на рабочей частоте магнита.

Ферромагнитный сердечник магнита и полюса выполнены в виде множественных секций, работающих параллельно и питаемых от одной катушки, общей для все секций.

Устройство содержит электромагнитные экраны для магнитного разобщения путей магнитного потока множественных секций сердечника и полюсов, работающих параллельно.

Во всех, кроме одной, из множественных секций сердечника и полюсов, имеются регулируемые по ширине вертикальные воздушные зазоры для независимого регулирования магнитного сопротивления.

Все, кроме одной, из параллельно работающих секций сердечника и полюсов установлены с возможностью настройки их магнитного сопротивления путем изменения ширины вертикальных воздушных зазоров.

Поставленная задача достигается также и тем, что в способе магнитного удержания расплавленного металла от утечки через открытую сторону вертикально простирающегося зазора между двумя расположенными в горизонтальной плоскости элементами путем образования магнитного поля от полюсов магнитного сердечника, соединенного с электропроводной катушкой, согласно изобретения, размещают пары расположенных с промежутком взаимодействующих полюсов магнитного сердечника со стороны открытого зазора, и создают в этом месте магнитное поле напряженностью, достаточной для оказания сдерживающего давления на расплавленный металл, которое локализируют к открытой стороне зазора путем расположения внутреннего немагнитного электропроводного экрана между полюсами магнита со стороны зазора.

В способе располагают электропроводную катушку, окружающую магнитный сердечник, со стороны зазора полюса магнита и расплавленного металла для его удержания, и пропускают электрический ток через катушку для создания

горизонтального поля.

Возвратный путь магнитного потока с низким магнитным сопротивлением обеспечивают с помощью магнитного материала, простирающегося, через открытую сторону зазора.

Часть магнитного поля, находящуюся вне возвратного пути с низким магнитным сопротивлением, удерживают в пределах пространства, ограниченного с одной стороны внутренним немагнитным электропроводным экраном, а с другой стороны расплавленным металлом.

Магнитное давление повышают в соответствии с ростом статического и динамического давления расплавленного металла в зазоре.

Кроме того, в способе магнитного удержания расплавленного металла от утечки через открытую сторону вертикально простирающегося зазора между двумя расположенными в горизонтальной плоскости проводящими элементами, между которыми находится расплавленный металл, согласно изобретения, промежуток между установленными со стороны зазора полюсами магнитного сердечника увеличивают до величины, превышающей величину зазора, и создают магнитное поле большее, чем требуется для бокового удержания расплавленного металла, при этом ограничивают величину оттеснения расплавленного металла с помощью эффекта экранирования магнитного потока проводящими элементами.

В случае отсутствия эффекта экранирования потока проводящими элементами создают магнитное поле, плотность которого не менее, чем в 100 раз превышает величину плотности магнитного поля, требуемую для бокового удержания расплавленного металла.

Согласно изобретения, вблизи открытой стороны зазора между валками генерируется конфигурированное горизонтальное магнитное поле, простирающееся через открытую сторону зазора к расплавленному металлу в зазоре, без необходимости предусматривать магнитному потоку путь с низким магнитным сопротивлением в концах валков. Магнитные поля, создаваемые в соответствии с настоящим изобретением, не ограничены насыщением высокопроницаемых магнитных пластин, могут быть больше, чем магнитные поля, достигаемые в соответствии с решениями из уровня техники.

Горизонтальное магнитное поле генерируется катушкой, окружающей магнитный сердечник, с образованием пары полюсов магнита, размещенных рядом с открытой стороной зазора, и расположением поверхностного участка полюсов магнита вблизи открытой стороны зазора. Как правило, через катушку пропускается переменный ток, создающий горизонтальное магнитное поле, простирающееся от обращенных друг к другу поверхностей полюсов магнита, через открытую сторону зазора, к расплавленному металлу. Полюса магнита размещены достаточно близко к открытой стороне зазора, чтобы удерживать расплавленный металл в пределах зазора. Между магнитными полюсами, рядом с открытой стороной зазора, размещены внутренние немагнитные экранирующие средства рядом с открытой стороной зазора и

конфигурированы так, чтобы удерживать горизонтальное магнитное поле через зазор в направлении расплавленного металла. Экран может быть изолирован от сердечника и полюсов или он может находиться в электрическом контакте, чтобы служить теплоотводом.

Согласно настоящему изобретению, концентрируют или формируют магнитное поле в направлении, в целом ограниченном направлением к открытой стороне зазора и расплавленному металлу в нем, без существенного рассеяния магнитного поля в направлении, противоположном открытой стороне зазора, благодаря использованию фасонных внутренних и внешних экранов, окружающих катушку. Направление размещения полюсов магнита, обращенных к открытой стороне зазора между валками, совместно с внутренним экраном, образованным из немагнитного проводника, такого как медь или сплав на основе меди, и имеющим такую форму, чтобы вынуждать магнитное поле стремиться к боковой стенке расплавленного металла, обеспечивает достаточную магнитную силу, чтобы предотвратить утечку расплавленного металла из открытой стороны зазора между валками.

Внешний экран, также образованный из немагнитного проводника, такого как медь или сплав на основе меди, удерживает магнитное поле от утечки прочь от зазора. Внешнему экрану может быть придана такая форма, чтобы магнитный поток, покидающий полюса магнита в направлении открытой стороны зазора между валками, направлялся к расплавленному металлу.

Один вариант выполнения изобретения предусматривает, что конфигурированные горизонтальные переменные магнитные удерживающие поля взаимодействуют с кромкой и боковой стенкой валков, обеспечивая желаемое электромагнитное, удержание ванны расплавленного металла между поверхностями пары вращающихся в противоположные стороны валков в процессе отливки из расплавленного металла вертикальной полосы. Частота переменного магнитного поля выбирается так, чтобы оптимизировать проникновение поля в боковую стенку расплавленного металла и кромку и валки и минимизировать нагревание вихревыми токами указанных валковых кромок и боковых стенок.

Внутренний и внешний немагнитные проводящие экраны конфигурированы так, чтобы соответствовать конусной форме открытой стороны валкового зазора для увеличения магнитного давления на расплавленный металл в соответствии с возрастающим статическим (т.е. глубиной) и динамическим (например, эффектами, обусловленными течением жидкости) давлением расплавленного металла в зазоре. Формообразование магнитного поля может быть осуществлено исключительно электромагнитным узлом, без необходимости модифицировать валковые кромки, например ферромагнитными вставками в валковые кромки, для обеспечения магнитных проводов с низким магнитным сопротивлением через кромки, хотя валковые кромки могут быть целесообразно скошены, чтобы усилить магнитное поле вблизи боковой стенки расплавленного металла.

На фиг.1 изображено предлагаемое

устройство вместе с парой валков литейной машины для непрерывной отливки полос, вид с торца; на фиг.2 - вид сбоку на устройство и валки на фиг.1; на фиг.3 - вид спереди на устройство по линии А - А на фиг.2; на фиг.4 - разрез по линии Б - Б на фиг.1; на фиг.5 - разрез Г - Г на фиг.1; на фиг.6 - увеличенный горизонтальный разрез предлагаемого устройства с частичным вырывом, с изображением направленного расположения полюсов магнита и соответствующим образом скошенным кромкам валков, в соответствии с одним вариантом конструкции согласно настоящему изобретению; на фиг.7 - разрез Ж - Ж на фиг.6; на фиг.8а и 8б - вид сверху и вид сбоку на магнитный сердечник на фиг.6; на фиг.9а - вид в плане на тороидальный магнитный сердечник, от которого отрезаются полюса 18 и 19 на фиг.6 и 7 в соответствии с одним вариантом конструкции; на фиг.9б - разрез З - З на фиг.9а; на фиг.10а и 10б - вид сверху и вид сбоку на часть устройства на фиг.6 с магнитным сердечником; на фиг.11а и 11б - вид сверху и вид сбоку на детали изготовления полюсов магнита устройства на фиг.6; на фиг.12 - вид сверху с частичным вырывом на другой вариант взаимодополняющих конфигурированных полюсов магнита и валковых кромок согласно настоящему изобретению; на фиг.13 - разрез И - И на фиг.12; на фиг.14 - горизонтальный разрез с частичным вырывом, показывающий расплавленный металл и магнитное поле при определенных условиях работы; на фиг.15 - боковой вид с частичным вырывом, показывающий другой вариант конструкции устройства вместе с валками литейной машины для непрерывной отливки полос; на фиг.16 - вид спереди по линии К - К на фиг.15; на фиг.17 - разрез Л - Л на фиг.15; на фиг.18 - разрез М - М на фиг.15; на фиг.19 - увеличенный местный разрез, показывающий часть устройства, показанного на фиг.18; на фиг.20 - горизонтальный разрез, показывающий другое выполнение устройства вместе с парой валков литейной машины для непрерывной отливки полос; на фиг.21 - вид спереди на другую конструкцию устройства магнитного удержания в соответствии с настоящим изобретением; на фиг.22 - разрез Н - Н на фиг.21 с указанием положения магнита впереди валков; на фиг.23 - перспективное изображение магнитного сердечника варианта конструкции, показанного на фиг.21; на фиг.24 - вид с торца на валки и смонтированные на валках ферромагнитные диски в соответствии с одним вариантом конструкции по настоящему изобретению; на фиг.25 - разрез П - П на фиг.24; на фиг.26 - увеличенный местный разрез варианта конструкции, показанного на фиг.25; на фиг.27 - вид, аналогичный фиг.24, показывающий смонтированные на валках ферромагнитные тороиды в соответствии с другим вариантом конструкции по настоящему изобретению; на фиг.28 - разрез Р - Р на фиг.27, показывающий другой вариант конструкции магнитного сердечника; на фиг.29 - увеличенный местный вид на вариант конструкции, показанный на фиг.28; на фиг.30 - вид с торца, частично с вырывом, показывающий другой вариант конструкции смонтированных на валках ферромагнитных тороидов; на фиг.31 - разрез Т - Т на фиг.30, показывающий магнитный сердечник; на фиг.32 - вид, аналогичный фиг.31,

показывающий еще один вариант конструкции магнитного сердечника; на фиг.33 - вид с торца, с частичным вырывом, показывающий другой вариант конструкции смонтированных на валках ферромагнитных вставок, имеющих слоистую форму; на фиг.34 - боковой вид на смонтированные на валках ферромагнитные вставки на фиг.33; на фиг.35 - разрез У - У на фиг.33; на фиг.36 - увеличенный местный разрез через смонтированные на валках ферромагнитные вставки на фиг.35; на фиг.37 изображает вид, аналогичный фиг.35, показывающий два отдельных варианта конструкции сердечника и валка; на фиг.38 - увеличенный местный разрез предмета изобретения на фиг.37; на фиг.39 - вид сверху на магнит в соответствии с настоящим изобретением, имеющий одновитковую катушку, служащий также электромагнитным экраном; на фиг.40 - вид спереди на вариант конструкции фиг.39; на фиг.41 - разрез Х - Х на фиг.39; на фиг.42 - разрез Ц - Ц на фиг.39; на фиг.43 - перспективное изображение нижней половины катушки электромагнита, показанной на фиг.39, 40, 41 и 42; на фиг.44 - перспективное изображение верхней половины катушки электромагнита, показанной на фиг.39, 40, 41 и 42; на фиг.45 - разрез, аналогичный виду вдоль линии разреза Х - Х на фиг.39, изображающий одновитковую катушку, содержащую два совмещенных катушечных узла, работающих параллельно; на фиг.46 - показывает выводы двух совмещенных катушечных узлов, подобных узлам на фиг.45, соединенных последовательно для двухвиткового режима работы; на фиг.47 - вид спереди на другой вариант конструкции согласно настоящему изобретению, имеющий три разобренных секции ферромагнитного сердечника для оптимизации электромагнитного бокового удержания; на фиг.48 - вид сверху на устройство на фиг.47; на фиг.49 - перспективное изображение магнитного сердечника конструкции на фиг.47 и 46; на фиг.50а - вид сверху на устройство на фиг.47, имеющее двухвитковую катушку; на фиг.50б - электрическая схема для двухвитковой катушки, изображенной на фиг.50а.

Ниже приводится подробное описание предпочтительных вариантов изобретения со ссылкой на чертежи, и вначале на фиг.1 - 5, на которых изображен вариант конструкции устройства магнитного удержания согласно настоящему изобретению, с парой валков литейной машины для непрерывной отливки полос. Следует понимать, что когда в данном описании говорится об удержании расплавленного металла на одном конце валков, то это относится к удержанию расплавленного металла между парой валков, вращающихся в противоположных направлениях, на обоих концах пары валков.

Как показано на фиг.1, пара валков 1 и 2 расположены параллельно и рядом один с другим и имеют оси, лежащие в горизонтальной плоскости, так что расплавленный металл 3, в ванне высотой h , может быть удержан между валками 1, 2 над точкой, где валки отстоят друг от друга наиболее близко (захват). Валки 1, 2 разделены зазором, имеющим размер d в захвате. Противоположное вращение валков 1 и 2 (в направлении, показанном стрелками 4 и 5) и сила тяжести вынуждают расплавленный металл 3 течь вниз и затвердевать к тому времени, когда он

покидает зазор d в захвате между валками 1 и 2. Валки изготовлены из материала, имеющего подходящую теплопроводность, например, из меди или сплава на базе меди, нержавеющей стали и т.п. и внутри охлаждаются водой.

Как показывают фиг.3, 4 и 5, магнит 6 включает в себя сердечник 7, имеющий полюсные поверхности 8 и 9. Обмотки катушки 10 навиты на магнитный сердечник 7 и переносят переменный электрический ток, намагничивая таким образом магнит 6 и наводя магнитное поле, показанное схематически в виде магнитного потока пунктирными линиями на фиг.4 и 5, между полюсными поверхностями 8 и 9. В этом варианте конструкции, сердечник 7 может быть изготовлен из любой намотанной в виде ленты ферромагнитной стали, например кремнистой стали, кремнистой стали с ориентированным зерном, аморфных сплавов и т.п. Для сердечника 7, показанного на фиг.3, 4, 5, ширина ленты равна высоте сердечника, имеющего размер C . Толщина ленты, например 0,002 дюйма (0,051мм) выбрана, чтобы снизить потери в сердечнике. Полюсные поверхности 8 и 9 обработаны на станке для обеспечения их соответствия валкам 1 и 2 литейной машины, с тем, чтобы электромагнитное поле направлялось к зазору, имеющему размер d между валками.

Магнит 6 стационарен и отделен от валков промежутком шириной q (фиг.4), достаточно большой, чтобы допускать свободное вращение и тепловое расширение валков. В некоторых случаях в качестве теплового барьера между расплавленным металлом и магнитом 6 может быть вложен слой высокотемпературной керамики.

Магнитный поток выходит и входит в полюсные поверхности 8 и 9 в направлении, перпендикулярном к полюсным поверхностям 8 и 9 магнита. Часть магнитного потока перекрывает пространство между магнитом 6 и сторонами валков 1 и 2 и проникает в валки и расплавленный металл, как показано схематически пунктирными линиями на фиг.4. Вследствие вихревых токов, создаваемых магнитным потоком в валках 1 и 2 и в расплавленном металле 3, поле затухает экспоненциально пропорционально расстоянию от указанных металлических поверхностей. Взаимодействие этих вихревых токов (текущих в существенно вертикальных петлях) с горизонтальным магнитным полем, создающим их, приводит к появлению электромагнитной силы, которая уравнивает силы, выдавливающие ванну расплавленного металла в осевом направлении наружу в конце зазора между валками. В результате расплавленный металл 3 удерживается вблизи конца зазора между валками 1 и 2 и магнитом 6.

Сердечник 7 и витки 10 катушки окружены внутренним экраном 11 и наружным экраном 12 для защиты их от вихревых токов, за исключением полюсных поверхностей 8 и 9. Экраны 11 и 12 электрически соединены без образования электрически короткозамкнутого витка вокруг магнитного сердечника 7 и 10 катушки. Экраны 11 и 12 концентрируют магнитный поток между полюсными поверхностями 8 и 9 и уменьшают утечку потока в пространстве вокруг сердечника 7. Поверхности

13 внутреннего экрана 11 расположены рядом с боковой стенкой 14 расплавленного металла. Форма соседней поверхности внутреннего экрана 13 и степень ее отделения от кромок валков и расплавленного металла 3 оказывают влияние на общее распределение магнитного потока.

Когда переменное магнитное поле с амплитудой B_0 , уменьшающейся со временем t , накладывается параллельно на проводящий лист с удельным электрическим сопротивлением ρ , то магнитное поле B и плотность I вихревых токов в проводящем листе ослабляются и сдвигаются по фазе, по мере их проникновения через поверхность листа. Эти изменения зависят от расстояния магнитного поля от проводящей поверхности X , магнитной проницаемости проводящего листа μ , и частоты f переменного поля, как показано в уравнениях (1) и (2):

$$B_x = B_0 E^{-x/\delta} \cos(\omega t - x/\delta), \quad (1)$$

$$I_x = (\omega/\mu\rho)^{1/2} B_0 E^{-x/\delta} \cos(\omega t + \pi/4 - x/\delta), \quad (2)$$

где $E = 2,75$,

$$\omega = 2\pi f,$$

$$\delta = (\rho/\mu \pi f)^{1/2} - \text{глубина проникания.}$$

Как показано уравнениями (1) и (2), магнитное поле и вихревые токи проникают в боковую стенку валков и расплавленного металла лишь на очень небольшие глубины поверхностного слоя, например, их значения снижаются до 10% от поверхностного значения на глубинах $x = 2,3\delta$. Можно показать, что общее экспоненциально уменьшающееся поле в проводнике эквивалентно воображаемому равномерно распределенному полю, заключенному в поверхностном слое проводника глубиной $x = \delta$.

Как показано пунктирными линиями магнитного потока на фиг.4 и 5, только поток Φ_1 , который проникает в расплавленный металл, генерирует силу удержания. Поток Φ_2 в воздушном пространстве между соседними поверхностью 13 внутреннего экрана и поверхностью 14 боковой стенки расплава, а также потоки Φ_3 , Φ_4 и Φ_5 в стенках экранов и поток Φ_6 в воздухе, окружающем магнит 6, не взаимодействует с расплавленным металлом для его удержания.

Как видно из фиг.4 и 5, отношение удерживающего потока Φ_1 к общему потоку

$$\Psi = \sum_1^6 \Phi_n \quad (1)$$

улучшается, особенно вблизи захвата валков, при изготовлении кромок валков и соседней с ними поверхности 13 внутреннего экрана с параллельными скошенными поверхностями 15 и 16, соответственно, и обеспечении дополнительности формы полюсных поверхностей 8 и 9 магнита, расположенных в основном перпендикулярно к плоскостям скошенных поверхностей 15 и 16. В этом варианте изобретения фиг.4 и 5 показывают каждый выполнение магнита 6 на двух уровнях расплавленного металла, каждый предусматривает расположенные под углом полюсные поверхности 8 и 8 для использования их со скошенными кромками валков, имеющими соответствующую взаимодополняющую форму.

В одном варианте настоящего изобретения, показанном на правой половине фиг.6 и 7,

магнитный сердечник 17 разрезан под углом 45° для образования стыкового соединения 10 с полюсом 18. Полюсная поверхность 19 параллельна поверхности 15 кромки валка 1, расстояние между поверхностью 19 и поверхностью 15 немного больше, чем тепловое расширение валка 1.

Фиг.8 и 9 иллюстрируют в аналогичном масштабе как изготавливаются сердечник 17 и полюса 18 на станке из сердечников ленточной навивки. Фиг.8а представляет собой вид сверху и фиг.8b вид спереди сердечника 17, изготовленного из двух секций 20 и 21, сложенных стопкой поверх одна другой.

В соответствии с другим вариантом настоящего изобретения как показано на фиг.9а и 9b, полюса 18 изготовлены отрезанием их от обработанного на станке тороидального сердечника ленточной навивки, обозначаемого номером позиции 22. Как показано на правой стороне фиг.6 и 7, внутренний экран 23 и наружный экран 24 охватывают сердечник 17 и полюса 18, за исключением воздушного зазора, который препятствует этим экранам быть короткозамкнутым витком для потока в сердечнике. Внутренний и наружный экраны 23 и 24 вынуждают поток сердечника направляться в полюсную поверхность 19. Катушка возбуждения, не показанная на фиг.6 и 7, намотана на эти экраны 23 и 24.

На левой стороне фиг.6 и 7 показан другой вариант выполнения устройства магнитного удержания согласно настоящему изобретению, в котором магнитный сердечник 25 разрезан под углом 90° для стыкового соединения с некоторым количеством полюсных частей 26 (фиг.11), полюсные поверхности 27 которых расположены параллельно к скошенной поверхности 15 валка 2. Фиг.10а, 10b, 11а и 11b показывают в аналогичном масштабе, изготовление сердечника 25 и полюсных частей 26 на станке из сердечников ленточной намотки, в общем обозначаемых номером позиции 28. И снова внутренний экран 29 и наружный экран 30 удерживают и направляют поток в сердечнике, как показано на левой стороне фиг.6.

Сравнение фиг.4 с фиг.6 показывает, что для одинаковых диаметров валков магнитная цепь фиг.6 имеет лучшее отношение удерживающего потока Φ , к полному потоку Ψ . Как показано на фиг.6, поток полюсных поверхностей больше проникает в кромки валков 1 и 2 и, следовательно, в расплавленный металл 3, чем в случае конфигурации, показанной на фиг.4.

Фиг.12 и 13 изображают другую разновидность магнита 31, применяемую в соответствии с принципами настоящего изобретения. В этой конструкции ширина W поверхности полюса 32 сделана больше, чем скошенная кромка 15 валка 1. Полюс 32 простирается вдоль боковой стенки валка, расположенной перпендикулярно к оси валка. Увеличенный полюс 32 увеличивает поверхность валка, собирающую поток над ее глубиной 8 проникания, тем самым повышая плотность потока в расплавленном металле. Изменяя ширину W полюса 32 при изменении расстояния от дна ванны (захвата), можно регулировать плотность потока в боковой стенке расплавленного металла и в валках 1 и 2.

Изменением ширины W полюса 32 можно регулировать силу бокового удержания и рассеяние энергии на единицу площади (обе эти величины пропорциональны квадрату плотности потока) для приведения их в соответствие с потребностями процесса.

В варианте, показанном на фиг.12, полюс 32 магнита может быть отрезан от обработанного на станке тороида ленточной намотки путем использования метода, описанного для полюса 18 на фиг.6. Магнитный сердечник 33 имеет форму, аналогичную форме сердечника на фиг.1 и 2, за исключением того, что сердечник 33 изготовлен либо из штампованных пластин, либо из прямых секций, подобных секции сердечника, обозначенного номером 34 на фиг.23. Пластины сердечника на фиг.12 расположены под прямым углом в сравнении со строением пластин сердечников ленточной навивки показанных на фиг.3, 4, 6, 8 и 10, это облегчает проникание части потока из сердечника 33 в выступающую часть полюса 32. Экраны 35 и 36, защищающие от вихревых токов, удерживают и направляют поток из сердечника и действуют как теплоотводы.

Для бокового удержания расплавленного металла главная составляющая горизонтального магнитного поля B должна быть в направлении, перпендикулярном к осям валков. Это не будет иметь места вблизи края валка, если расстояние S между полюсами будет превышать расстояние d между валками. Как показано на фиг.14, где S меньше, чем d , главная составляющая поля B между полюсами 37 и 38 вблизи краев валков параллельна осям валков. Следовательно, магнитная сила F вблизи этих краев направлена преимущественно перпендикулярно к осям валков и расплавленный металл не будет удерживаться вблизи краев валков. Направление поля B , вихревой ток I и сила F показаны для расположения боковой стенки, отмеченного звездочками на фиг.14.

Еще одна модификация изобретения представлена магнитом 39, изображенным на фиг.15, 16, 17, 18 и 19. В этом варианте поверхности полюсов магнита перпендикулярны осям валков, и магнитный поток испускается из полюсных поверхностей в направлении, параллельном осям валков. Как показано на фиг.19, поверхность 40 внутреннего экрана 41 лежит в той же плоскости, что и поверхности полюсов 42 и 43 магнита, $S > d$, полюсные поверхности 44 магнита отделены от поверхностей валков зазором q .

В отличие от варианта конструкции, показанного на фиг.1, 2, 3, 4 и 5 внутренний экран 41 и наружный экран 68 установлены рядом с магнитным сердечником 46 и катушка 47 магнита навита на заднюю четверть или заднее плечо 48 магнита 39. В предпочтительном варианте катушка 47 магнита навивается из изолированных тонких параллельно соединенных медных пластин с целью снижения потерь на вихревые токи, и в обмотки катушки встраиваются водоохлаждаемые теплоотводы. Вместо медных листов катушка 47 может быть навита из проволоки LITZ, размещенной вокруг водоохлаждаемых теплоотводов (медные трубы), например, или из тонкостенных водоохлаждаемых труб.

Магнитная проницаемость ферромагнитных материалов гораздо больше, чем магнитная

проницаемость воздуха, расплавленного металла и меди (фиг.18 и 19). Поэтому магнитодвижущая сила катушки 47 используется в первом приближении для того, чтобы загнать поток между полюсными поверхностями 49 и 50. Плотность потока обратно пропорциональна длине пути магнитного потока, поэтому плотность потока на полюсных поверхностях 49 и 50 уменьшается с горизонтальным расстоянием от внутреннего экрана 41. Отношение удерживающего потока Φ_1 , показанного на фиг.5, к полному потоку

$$\Phi_1 \approx \sum_{i=1}^6 \Phi_i \quad (2)$$

равно η и зависит от геометрии цепи и рабочей частоты. Магнитные потоки экранов Φ_4 и Φ_5 и поток утечки Φ_6 намного меньше, чем потоки Φ_1 , Φ_2 и Φ_3 . Поэтому можно аппроксимировать $\eta \approx \Phi_1 / (\Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3)$. (3)

Зазор q , который разделяет валки 1 и 2 и магнит 39, определен тепловым расширением валков и толщиной слоя высокотемпературной керамики (не показан), покрывающим поверхность магнита 39, если такой защитный слой применяется.

Для геометрии, показанной на фиг.17, 18 и 19, распределение поля может быть установлено методом графического изображения поля или с помощью подходящего компьютерного кода. У захвата, как показано на фиг.18 и 19, большая часть удерживающего магнитного потока входит в расплавленный металл из окружающего валки пространства.

Отношение плотности магнитного потока в боковой стенке расплавленного металла, B_{mm} к плотности потока в валке B_{cu} вблизи расплавленного металла обратно пропорционально глубине проникания для двух материалов

$$B_{mm} / B_{cu} \approx \delta_{cu} / \delta_{mm} \quad (4)$$

Удерживающий магнитный поток Φ_1 аккумулируется боковой стенкой валка и возрастает с шириной W полюса. При входе в боковую стенку валка магнитный поток вынуждается вихревыми токами течь горизонтально слоем, эквивалентным одной глубине δ_{cu} проникания, вызывая сжатие потока. Для средней плотности магнитного потока в полюсах, B_p плотность магнитного потока в поверхности валков равна

$$B_{cu} \approx B_p \eta w / \delta_{cu} \quad (5)$$

Сжатие магнитного потока может быть выражено как

$$B_{cu} / B_p \approx \eta w / \delta_{cu} \quad (6)$$

При широких полюсах магнита плотность потока у краев валков может быть сделана намного больше, чем это возможно достичь с ферромагнитными вставками в кромках валков (вставки имеют ограничения по плотности потока насыщения $<19 \text{ кГс}$). Объединяя уравнения (4) и (5) получаем плотность магнитного потока в глубине проникания для расплавленного металла: $B_{mm} \approx B_p \eta w / \delta_{cu}$. (7)

Например, для условий, показанных на фиг.19, приблизительно 30% магнитного потока полюса входит в боковые стенки валков (η 0,3). При 3кГц глубина проникания у расплавленного

металла и меди, находящейся при комнатной температуре, будет соответственно равна 1,1см и 0,12см. Для полюсных поверхностей шириной 3,3см и средней плотности магнитного потока $B_p = 6 \text{ кГс}$, плотность магнитного потока в расплавленной стали будет согласно уравнению (7):

$$B_{mm} \approx 6 \text{ кГс} \times 0,3 \times 3,3 \text{ см} / 1,1 \text{ см} =$$

$$= 5,4 \text{ кГс.}$$

Пиковая плотность магнитного потока в медных валках была бы по уравнению (5):

$$B_{cu} \approx 6 \text{ кГс} \times 0,3 \times 3,3 \text{ см} / 0,12 \text{ см} =$$

$$= 49,5 \text{ кГс.}$$

Отношение плотности магнитного потока B_{ins} на краю полюса вблизи внутреннего экрана 41 к плотности магнитного потока B_{outs} на краю полюса вблизи наружного экрана 45 равно

$$B_{ins} / B_{outs} \approx (S + 2W) / S. \quad (8)$$

Для условий, показанных на фиг.19, это отношение равно

$$B_{ins} \approx \frac{2,2 \text{ см} + 2 \times 3,3 \text{ см}}{2,2 \text{ см}} - B_{outs} \approx 4B.$$

Важно, чтобы эти различия в плотности магнитного потока не вызывали насыщения или чрезмерных потерь внутри полюсов и в сердечнике. При заданных значениях d , q и S у захвата ширина полюса W и плотности магнитного потока удерживающего магнита могут быть оптимизированы для желаемой высоты ванны расплавленного металла из уравнений (3), (7) и (8).

Фиг.20 изображает горизонтальный разрез через захват магнита 51 согласно настоящему изобретению. Большая эффективная ширина полюса достигается с помощью трех сердечников 52, 53, 54, разделенных медными экранами 55, 56 и охваченных внутренним экраном 57 и наружным экраном 58. Эти экраны также служат в качестве теплопроводов. Сердечники 52, 53 имеют полюса 59, 60, 61 на левой стороне и полюса 62, 60 и 63 на правой стороне внутреннего экрана 57, ширина их полюсов равна соответственно "a", "b" и "c". Эффективная ширина полюса равна $W = a + b + c$.

Фиг.20 иллюстрирует три из многих различных режимов регулирования магнитного потока, возможных с данным вариантом осуществления изобретения.

Обращаясь к правой половине разреза на фиг.20 и сердечника 52, 53, и 54 без воздушных промежутков, видим, что отношения плотности магнитного потока на внутренней стороне B_{ins} к плотности магнитного потока на наружной B_{outs} для полюсов 62, 60 и 63 равно:

$$\frac{B_{ins}}{B_{outs\ 62}} : \frac{B_{ins}}{B_{outs\ 60}} : \frac{B_{ins}}{B_{outs\ 63}} \quad (9)$$

$$\frac{2k}{S} : \frac{2m}{2m-2b} : \frac{2h}{2h-2c}$$

При катушках 64 и 65, общих для всех сердечников, отношение пиковой плотности магнитного потока в полюсах 66, 67 и 68 равно

$$B_{66} : B_{67} : B_{68} \approx \frac{1}{S} : \frac{1}{2m-2b} : \frac{1}{2h-2c} \quad (10)$$

Выполняя треугольные вырезы в сердечниках 52, 53, и 54 с основаниями на поверхностях внутреннего сердечника, равными ширинам полюсов соответствующих сердечников, и вершинами на других поверхностях, как показано штрихованными линиями в правой половине разреза на фиг.20, плотность магнитного потока над каждой шириной "a", "b" и "c" постоянна ($B_{66} = B_{outs}$) и отношения плотности магнитного потока становятся равны:

$$B_{66} : B_{67} : B_{68} \approx \frac{1}{S = 2a} : \frac{1}{2m} : \frac{1}{2n} \quad (11)$$

Пунктирные линии магнитного потока в правой половине разреза на фиг.20 иллюстрируют условие для уравнения (11) и потока Φ_1 .

Обращаясь к левой половине разреза на фиг.20 с сердечниками 52, 53 и 54, имеющими треугольный вырез, выполненный через все три сердечника, с относительными размерами как указано, видим, что все три магнитные цепи приблизительно равны, и отсутствует градиент плотности магнитного потока через полюса. Как показано пунктирными линиями в левой половине разреза, плотность магнитного потока одинакова на всех трех полюсах:

$$B_{66} = B_{67} = B_{68} \approx 1/2 h. \quad (12)$$

Относительно большие воздушные промежутки в сердечниках 52 и 53, образованных треугольным вырезом, выполненным через сердечники 52, 53 и 54, можно было бы подразделить для уменьшения потерь на вихревые токи в участках экранов 57, 55 и 56, окружающих эти промежутки.

Еще один вариант осуществления настоящего изобретения показан на фиг.21, 22 и 23. В магните используются дуговые секции, вырезанные из ферромагнитных цилиндров ленточной навивки. Для приготовления дуг для секций 69 и 70 сердечника используется короткий цилиндр, а более длинный цилиндр, имеющий меньший диаметр, используется для наружных секций 71 и 72 сердечника. Лицевые поверхности сердечников, расположенные напротив валков 1 и 2, представляют собой полюса магнитов. Другой конец сердечников 69 и 70 соединен ферромагнитным ярмом 73, а сердечники 71 и 72 соединены ферромагнитным ярмом 74. Фиг.23 показывает ферромагнитные компоненты. Они магнитно эквивалентны узлу, показанному на правой стороне фиг.20, если удалить из фиг.20 самые крайние сердечники 54 и полюса 68. Как магнит на фиг.20, так и магнит на фиг.21 может иметь больше или меньше секций сердечника и секций полюсов, включенных параллельно, в зависимости от назначения и заданной эффективной ширины W полюса.

Сердечник и ярмо магнита 75 заключены в не замыкающие накоротко водоохлаждаемые экраны для защиты от вихревых токов, содержащие дуговые секции 76, 77 и 78 с концевыми секциями 79, 80, 81 и 82, нижние секции 83 и верхние секции 84. Глубина D нижнего полюсного узла

определена выбором внутреннего полюсного промежутка S и площади ($S \times D$), требуемой для размещения катушек 85, экранов 76 и конечных секций 81 и 86.

Для больших диаметров валков, возможно, окажется нецелесообразным изготавливать большие цилиндры ленточной навивки. В этом случае сердечники магнита 75 могут быть выполнены из большого числа одинаковых ламинированных секций 87 (кирпичи или строительные блоки), как показано на фиг.23. Эти секции 87 могут иметь слои в горизонтальной или вертикальной плоскости. Вертикальная ориентация слоев дает в результате меньшие потери на вихревые токи в окружающих экранах.

Другое воплощение изобретения изображено на фиг.24, 25 и 26. Этот вариант конструкции является комбинацией большого числа тонких изолированных ферромагнитных дисков 88, смонтированных на валках 1 и 2, и отдельного стационарного магнита 89, который намагничивает вращающиеся диски 88. Фиг.24 показывает ферромагнитные диски 90, смонтированные на валке 1 через твердый медный диск 91 посредством винтов 92 и изолирующих втулок 93. Ферромагнитные диски 94 смонтированы на валке 2 через медный диск 95 посредством винтов 92 и изолирующих втулок 93. Магнит 89, показанный в разрезе на фиг.25, состоит из сердечника 96, заключенного между внутренним экраном 97 и наружным экраном 98. Эти экраны электрически соединены между собой, зазор между двумя экранами не позволяет экранам стать короткозамкнутым витком. Катушки 99 и 100 магнита охватывает экранированный сердечник.

Фиг.26 представляет собой увеличенное изображение одной половины захвата, показанного на фиг.25, иллюстрирующее распределение магнитного потока. Вариант конструкции фиг.24 и 25 вызывает гораздо меньше потерь на вихревые токи в валке 1, чем предыдущие варианты, потому что очень малая доля потока проникает в валки. Это особенно справедливо, когда $S = d$. В противоположность магнитам 6, 101, 31, 59, 51 и 75 комбинация магнита 89 и дисков 88 производит поле, которое направлено существенно перпендикулярно к осям валков даже тогда, когда $S < d$. Как показано на фиг.4, 6, 13 и 14, это не имеет места в прежних магнитах. Для $S = d$ и комбинации смонтированных на валках дисков 88 и магнита 89, расплавленный металл будет удерживаться ближе к краям валков 1, 2 чем это имеет место с прежними валками. Достижимые высоты ванны ограничены насыщением диска и сердечника. Недостатком ферромагнитных дисков, смонтированных на валках, является большая круговая утечка поля, испускаемого дисками за пределы площади ванны.

Для $S > d$ магнитное поле, создаваемое магнитом 89 и передаваемое через диски 88 к краям валков 1, 2 и боковой стенке ванны расплавленного металла 3, может быть сделано значительно большим, чем это требуется для бокового удержания. В этом варианте изобретения для удержания используется эффект экранирования вихревых токов медными валками 1,2 с целью ограничить оттеснение боковой стенки ванны 3. Уравнение (1) показывает быстрое ослабление поля как функции расстояния x от

поверхности. Это магнитное поле, которое значительно больше, чем требуется для удержания, может быть создано любым из магнитов, показанных на чертежах.

Магнитное поле может, например, быть увеличено в 100 раз по сравнению с тем, что необходимо для бокового удержания расплавленного металла, в случае если отсутствует эффект экранирования проводящими элементами.

Еще одна модификация магнита изображена на фиг.27, 28 и 29. Этот вариант изобретения представляет собой комбинацию ферромагнитных торомдов 102 ленточной навивки, смонтированных на валках 1, 2 и отдельного стационарного магнита 103 для намагничивания вращающихся тороидов 102.

Фиг.27 показывает ферромагнитный тороид 104, смонтированный на валке 1 посредством твердых медных цилиндров 105, 106, винтов 107 и изолированных монтажных крепежных изделий 108. Ферромагнитный тороид 109 смонтирован аналогичным образом на валке 2.

На фиг.26 показан поперечный разрез магнита 103. Он состоит из сердечника 110, заключенного между внутренним экраном 111 и наружным экраном 112. Экраны 111 и 112 электрически соединены один с другим, а зазор препятствует превращению экранов в короткозамкнутый виток. Катушка 113 магнита охватывает экраны. Экран 111 проступает внутрь зазора между тороидальными узлами 102 для конфигурирования поля и с целью уменьшения утечки магнитного потока, как показано на фиг.29. Комбинация смонтированных на валках тороидов 102 и магнита 103 более эффективна, чем магнит 39, оттесняет удерживающее поле внутрь валков 1, 2. Потери в полюсе магнита 103 невелики в сравнении с магнитом 39. Эти преимущества должны быть взвешены на фоне дополнительных затруднений с монтажом тороидов 81 на валках и большей утечки магнитного потока, испускаемого из открытой поверхности тороидов.

Еще один вариант конструкции магнита изображен на фиг.30, 31 и 32. Большие глубины ванны требуют больших полей вблизи дна ванны. На фиг.30 два тороида 114 и 115 размещены между медными оброчами 116, 117 и 118, смонтированных на валке 2. Подобно этому, пара тороидов 114 и 115 смонтирована на валке 2. Фиг.31 изображает поперечный разрез через правую половину узла бокового удержания, показывающую смонтированные тороиды 114 и 115 и их соответствующие секции 119 и 120 сердечников стационарного магнита 121. Сердечники 119 и 120 уложены в экраны 122, 123 и 124. Внутренний экран 122 используется для формирования поля напротив боковой стенки расплавленного металла и для снижения магнитного потока утечки. Катушка магнита (не показана) охватывает экраны у заднего ярма магнита.

Фиг.32 показывает вариант, использующий два набора смонтированных на валке квадрантов 125 и 126, смонтированных вокруг окружности валков 2 и магнита 127 для бокового удержания. Набору 125 и 126 квадрантов вокруг окружностей валков уложены в медные оброчы 128, 129 и 130 и смонтированы на валке 2. Сердечники 131, 132 магнита 127 уложены в экраны 133, 134 и 135.

Экран 133 также используется для формирования поля для боковой стенки расплавленного металла. Катушка (не показана) магнита охватывает экраны сзади магнита.

Другие варианты конструкции устройства бокового электромагнитного удержания изображены на фиг.33, 34, 35, 36, 37 и 38. Эти варианты представляют собой комбинации ферромагнитных смонтированных на валках пластин, ориентированных в направлении, смещенном на 90° по отношению к ориентации ферромагнитных смонтированных на валке пластин на фиг.25, 28, 31 и 32 и отдельного стационарного магнита 136 для намагничивания вращающихся пластин. Эта ориентация пластин препятствует большой круговой утечке магнитного потока, связанного с дисками, смонтированными на валках (фиг.25), и тороидами, смонтированными на валках (фиг.26 и 31). Наборы квадрантов фиг.32 также уменьшают этот магнитный поток утечки. Как изображено на фиг.33 и 34, пластины могут быть равномерно распределены вокруг окружности валков индивидуально, как обозначено номером позиции 137, или они могут быть расположены групповыми равноширокими пакетами, как обозначено номером позиции 138. Фиг.34 и 35 показывают ферромагнитные пакеты 138, разрешенные сэндвичем между медными дисками 139 и 140 и смонтированные с помощью изолированных крепежных средств 141 на валке. Магнит 136 состоит из сердечника 137, заключенного в экраны 142 и 143. Катушки 144 магнита охватывают узел экран-сердечник. Внутренний экран 142 также используется для формирования поля в боковой стенке расплавленного металла. На левой стороне фиг.35 пути главного магнитного потока сердечника 137 показаны пунктирными линиями. Фиг.36 изображает пунктирными линиями распределение магнитного поля полюсного наконечника 145. Полюсный наконечник 145 (фиг.36) находится в контакте с краями валка у 146. Как показано на фиг.35 и 36, форма ферромагнитных пакетов 138 обеспечивает такое сжатие магнитного потока, что плотность потока у полюсного наконечника вблизи захвата приблизительно в три раза больше, чем плотность потока у полюсного наконечника вблизи полюса 137.

Фиг.37 изображает два различных варианта выполнения пластин, смонтированных на валке. На правой половине фиг.37 пластины 147 установлены с отступом от края валка 2, давая в результате распределение поля, показанное на правой стороне фиг.38 в увеличенном масштабе. Как показано на фиг.37, расплавленный металл отталкивается еще далее по сравнению с условиями, показанными на фиг.35 и 36. На левой стороне фиг.37 пластины 148 не только выполнены заподлицо с краем валка 1, который касается расплавленного металла, но и они также касаются другой стороны края валка на расстоянии, показанном как "а". Как показано в увеличенном масштабе на левой половине фиг.38, эта особенность увеличивает поле в жидком металле, толкая его далее назад.

Еще одна модификация изобретения представлена магнитом 149, изображенным на фиг.39 - 44. В этом варианте магнитный сердечник 150 охватывается одновитковой катушкой,

содержащей нижнюю половину 151 (фиг.43) и верхнюю половину 152 (фиг.44). Половины 151 и 152 катушки изготовлены из меди и также действуют как электромагнитные экраны для магнитного сердечника 150. Клеммная пластина 153 нижней половины 151 катушки припаяна к центральной детали 154 и боковым стенкам 155, 156 и 157 твердым припоем. Клеммная пластина 158 верхней половины 152 катушки припаяна к боковым стенкам 159, 160 и верхней пластине 161 твердым припоем. Верхняя поверхность центральной детали 154 и парная ей нижняя часть пластины 161 посеребрены для улучшения электрического контакта, когда верхняя половина 152 катушки будет прикреплена к нижней половине 151 катушки крепежными средствами 162 для завершения цепи возбуждения. Как изображено стрелками, показывающими направление тока на фиг. 41 и 42S ток I магнита течет от клеммной пластины 153 вверх, через центральную часть 154 в верхнюю пластину 161 и вниз через боковые стенки 159 и 160 в верхнюю клеммную пластину 158. Боковые стенки 155, 156 и 157 нижней половины катушки не несут тока, присутствие боковых стенок 155, 156 и 157 снижает магнитный поток утечки благодаря повышению магнитного сопротивления линий магнитного потока утечки.

Распределение тока осуществляется более равномерно путем нарезания щелей в клеммных пластинах 153 и 158. Получающиеся в результате дорожки тока 163, 164, 165, 166 и 167 в пластине 153 и дорожки 168, 169, 170, 171 и 172 в пластине 158 имеют приблизительно равное сопротивление, что приводит с неизбежностью к картине распределения тока, которая показана пунктирными линиями на фиг.39. Потери в цепи сводятся к минимуму путем изготовления деталей катушки из медных листов, имеющих толщину приблизительно в 2 - 4 раза превышающую глубину проникания тока магнита. Исключением здесь может быть центральная деталь 154, которая может быть выполнена из более толстого куска меди.

Длина окна магнитного сердечника, показанного на фиг.42 как размер D, имеет минимум, который определяется дугой полюсных наконечников 173, его максимум определен плотностью тока, выбранной для магнитного сердечника.

Может быть предусмотрено водяное охлаждение для деталей узла сердечника путем припаивания твердым припоем трубопровода к клеммным пластинам 153 и 158 и к поверхностным пластинам 161, 159 и 160. Могут быть просверлены отверстия (не показаны) через нижнюю пластину 153 и внутрь центральной детали 154 для циркуляции охлаждающей воды.

Полюсные наконечники 174 и 175 могут быть установлены с отступом от боковых стенок 156 (подобно расположению, показанному на фиг.5) или они могут быть выполнены заподлицо с наружными боковыми стенками 156 (подобно фиг.17 и 18) или они могут выступать (подобно фиг.7, 12 и 25) для облегчения удержания боковой стенки расплавленного металла.

Между полюсными наконечниками 173 помещена твердая медная деталь 176 для формирования магнитного поля между удерживающим магнитом, валками и

удерживаемой электромагнитно боковой стенкой расплавленного металла. Поверхности медной детали 176, обращенной к расплавленному металлу, может быть придана форма, подобная форме поверхностей, показанных, например, на фиг.4, 5, 6, 7, 17 и 18. Твердая медная деталь 176 может быть изолирована от узла катушка-сердечник или она может быть неразъемной частью центральной детали 154 без создания эффекта короткозамкнутого витка для магнитного потока сердечника. Предусмотрено водяное охлаждение для медной детали 176 посредством медных труб, припаянных твердым припоем к ней (не показаны), и/или отверстий, просверленных в ней (не показаны).

Магнитный узел 177, показанный на фиг.45, является другой вариацией настоящего изобретения. Фиг.45 представляет собой разрез, аналогичный фиг.41, магнита 149. Катушка магнита 177 предназначена для применений, когда требуются очень большие значения ампер-витков, чтобы удерживать боковые стенки глубоких ванн расплавленного металла между валками большого диаметра.

Часть узла катушки магнита действует как вихревой токовый экран для уменьшения магнитного потока утечки сердечника 178. Катушка магнита на фиг.45 содержит внутреннюю катушку 179, заключенную внутри наружной катушки 180 и изолированной от нее.

При двух катушках, выполненных каждая из медных листов толщиной, приблизительно в 2 - 4 раза превышающей глубины проникновения тока магнита, потери тока в катушке уменьшаются приблизительно наполовину в сравнении с конструкцией магнита 149.

Конструкция узла внутренней катушки почти идентична инструкции катушки магнита 149, показанного на фиг.39 - 44. Как показано на фиг.45, половина намагничивающего тока (1/2) течет от клеммной пластины 181 внутренней катушки 179 вверх через центральную деталь 182 через верхнюю пластину 183 и назад вниз через боковую пластину (из которых только пластина 184 видна на фиг.45) к верхней клеммной пластине 185. Вторая половина тока намагничивания входит в клеммную пластину 186 наружного катушечного узла 180, течет вверх через центральную деталь 187 в верхнюю пластину 188 и вниз по боковым пластинам (видна только пластина 189) в клеммную пластину 190. Внутренняя катушка 179 имеет боковые стенки 191, 192 и 193 (193 не видна на фиг.45, она подобна боковым пластинам 194 и 195 магнита 149), которые не несут тока, их присутствие уменьшает магнитный поток утечки благодаря увеличению магнитного сопротивления линий магнитного потока утечки. Катушки на фиг.45 соединены в каскады пайкой твердым припоем.

Как показано на фиг.46, катушки 179 и 180 могут также соединяться последовательно для применений, когда желательны меньший ток и более высокое напряжение энергоснабжения.

Для еще больших токов могут быть совмещены и соединены в параллель или последовательно более чем две катушки с использованием принципов, очерченных на фиг.45 и 46. Кроме того, длина окна магнитного сердечника (диаметр D на фиг.42) может быть увеличена, тем самым увеличивается поперечное

сечение соответственно увеличенного числа медных пластин (182, 185, 184, 186, 187, 190, 189).

Магнитные сердечники, выполненные из сплошного ферромагнитного материала и возбуждаемые от одной катушки, как показано для магнитов 6, 101, 75, 149 и т.п., могут создавать плотности магнитного потока вдоль вертикальных поверхности боковой стенки расплавленного металла, которые слишком сильно оттесняют некоторые участки боковой стенки. В соответствии с другим вариантом настоящего изобретения эта проблема решается устройством 196, которое создает три параллельные регулируемые линии магнитного потока.

Фиг.47 и 46 показывает магнит 196 соответственно на виде спереди и на виде сверху. Фиг.49 является перспективным изображением ферромагнитного сердечника магнита, состоящего из трех секций, разделенных горизонтальными воздушными промежутками. Нижняя секция состоит из дуговых частей 197, 198, 199 и ярма 200, средняя секция имеет дуговые части 201 и ярмо 202, и верхняя секция имеет дуговые части 203, 204 и ярменные части 205. Торцовые поверхности 206, 207 и 208 сердечника представляют собой полюса магнита, расположенные напротив валков 1 и 2.

Узел сердечника питается от одновитковой катушки, которая охватывает его, за исключением полюсов 206, 207 и 208 магнита. Внутренняя половина катушки состоит из дуговых листов 209 и 210, припаянных твердым припоем к задней пластине 211. Наружная половина катушки состоит из дуговых листов 212 и 213, которые припаяны твердым припоем к дуговой пластине 214. Эти половины катушки соединены U-образными каналами 215, 216 и 217, для обеспечения хорошего электрического контакта соединяемые поверхности посеребрены и скреплены болтами. Магнитное удерживающее поле формируется твердой водоохлаждаемой медной деталью 218 (фиг.48), которая помещена между внутренней половиной катушки 219, напротив валков, и боковой стенкой расплавленного металла литейной машины. Деталь 218 может быть изолирована от катушки или может быть припаяна к ней твердым припоем для уменьшения потока утечки (деталь 218 на фиг.47 не показана).

Чтобы разобщить магнитные потоки трех секций магнитного сердечника, средняя секция 207 заключена в электромагнитный экран 220, выполненный из меди. Он состоит из нижнего U-образного канала 221, охватывающего нижнюю половину секции 201 сердечника и ярмо 202, и верхнего U-образного канала 222, который охватывает верхнюю половину секций 201 сердечника и ярмо 202. Зазоры 223 препятствуют превращению экранов в короткозамкнутый виток для магнитного потока.

Магнитное давление для удержания боковой стенки расплавленного металла пропорционально квадрату плотности потока удерживающего поля. Силы электромагнитного удержания могут быть отрегулированы как функция глубины ванны путем установки магнитного сопротивления путей магнитного потока сердечника как функции глубины ванны. Магнит 196 осуществляет это

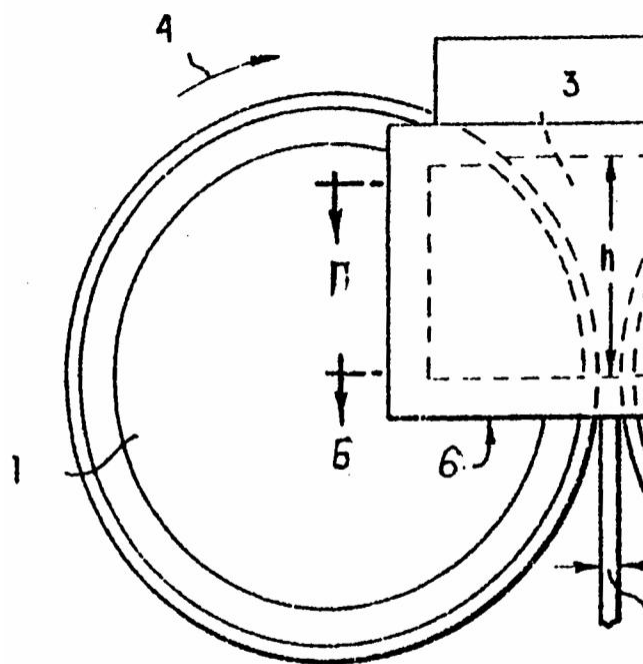
путем регулирования магнитного сопротивления путей магнитного потока для двух из трех секций его сердечника.

В примере, показанном на фиг.49, средняя секция магнитного сердечника требует больше ампер-витков для удержания боковой стенки, чем верхняя и нижняя секции, и поэтому определяет ток в магните. Магнитное сопротивление средней секции делают по возможности малым, поддерживая воздушные зазоры между частями 201 и 202 малыми, величину оттеснения боковой стенки расплавленного металла в верхней и нижней секциях оптимизируют, повышая магнитное сопротивление соответствующих секций сердечника добавлением воздушных зазоров. Как показано на фиг.49, магнитное сопротивление нижней секции магнита повышается при помещении воздушных зазоров 224 и 225 в линию магнитного потока. Магнитное сопротивление верхней секции повышается воздушными зазорами 226 и 227. Ширина этих воздушных зазоров может быть постоянной или изменяться с высотой ванны для дальнейшего регулирования распределения потока.

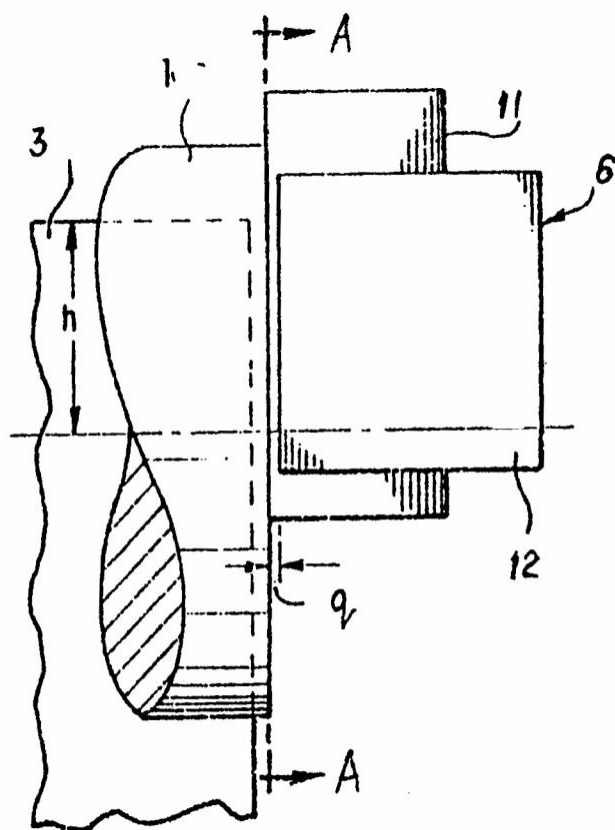
На фиг.49 в горизонтальных зазорах размещены секции 221 и 222 экранов, а вертикальные зазоры служат для регулирования магнитного сопротивления. Как показано на фиг.50a одновитковая катушка магнита 196 может быть превращена в двухвитковую катушку путем, прорезания зазора 228 вдоль ее центральной линии, где расположены задние пластины 211 и 214 и соединительный канал 217. Сердечник должен быть экранирован в этом месте для снижения потока утечки. Фиг.50b является схемой двухвиткового режима работы. При двухвитковой катушке медная деталь 218, предназначенная для формирования поля, может быть изолирована от катушки или быть присоединена только к одной четверти витка (например, к стороне 209), как показано на фиг.50a, воздушный зазор 229, разобщает два витка.

Устройство работает следующим образом.

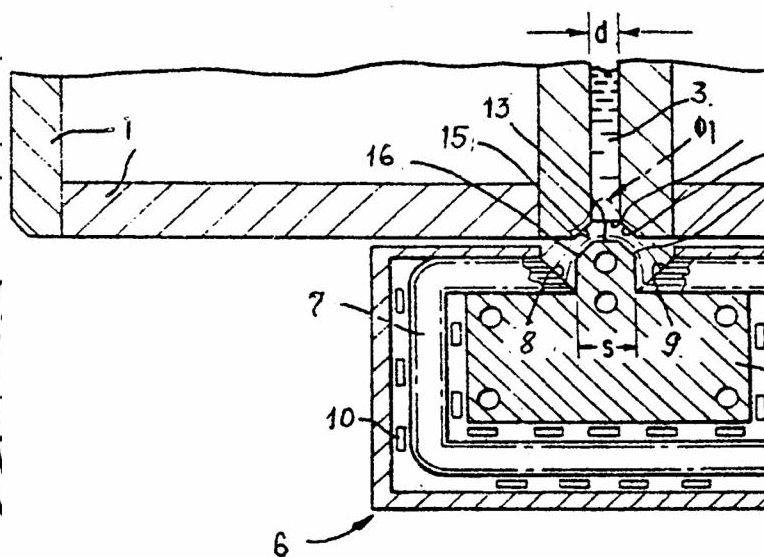
Магнит 6, включающий в себя сердечник 7 с размещенными вблизи открытой стороны зазора полюсными поверхностями 8 и 9 возбуждается течением переменного тока через обмотки катушки 10 и создает переменное магнитное поле. Магнитное поле распространяется через открытый конец зазора, наводя вихревые токи в расплавленном металле и создавая таким образом силу отталкивания, оттесняющую жидкий металл от открытой стороны зазора. Внутренний 11 и наружный 12 экраны концентрируют магнитный поток между полюсными поверхностями 8 и 9, и таким образом сводят к минимуму его утечку в пространство вокруг сердечника 7 катушки.



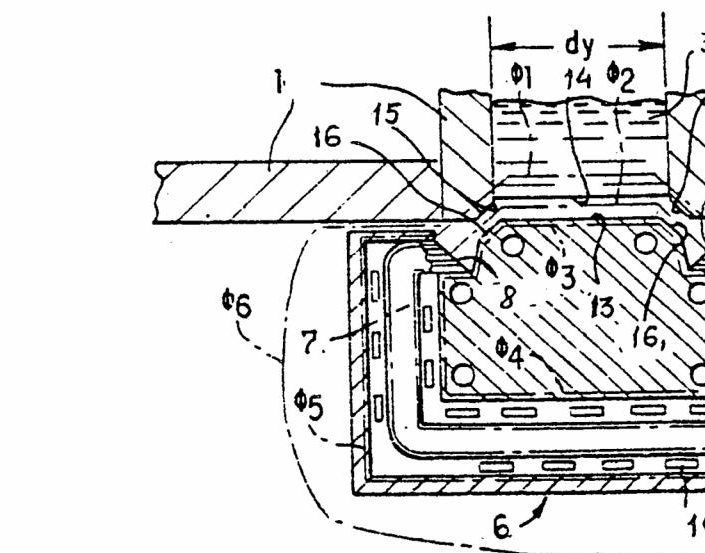
Фиг. 1



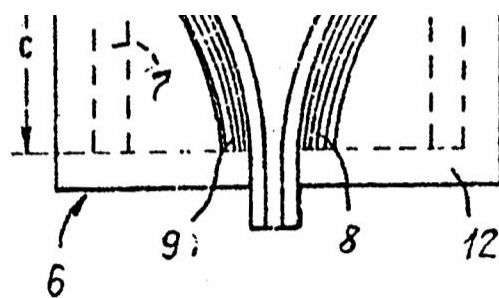
Фиг. 2



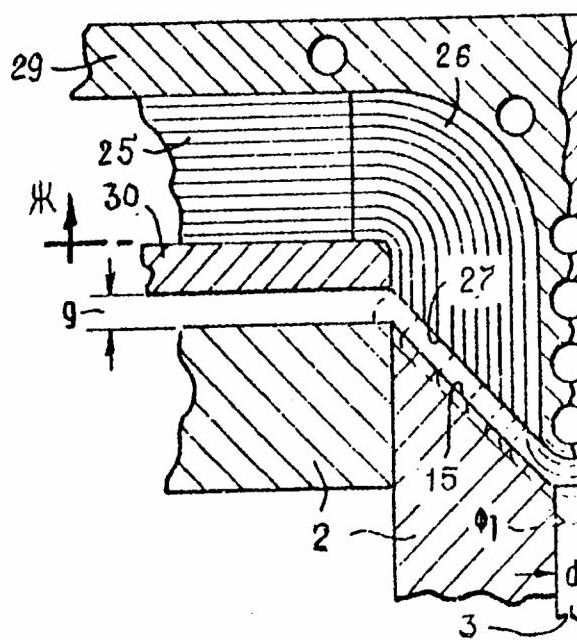
Фиг. 4



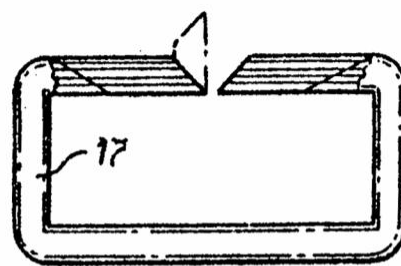
Фиг. 5



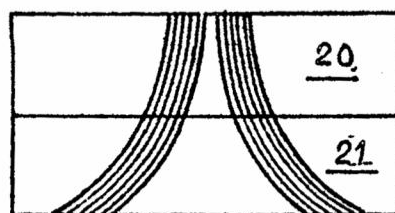
Фиг. 3



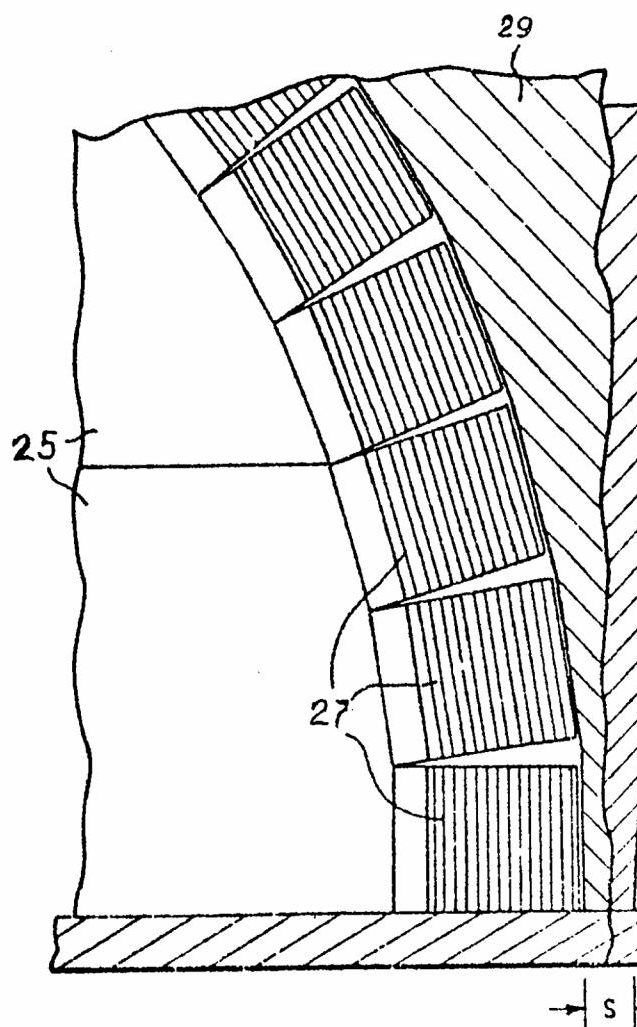
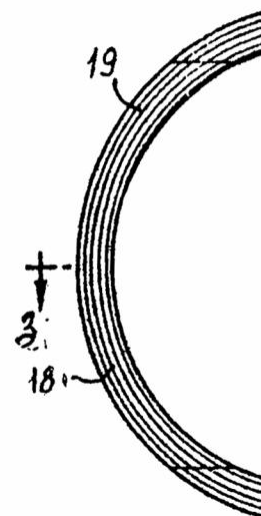
Фиг. 6



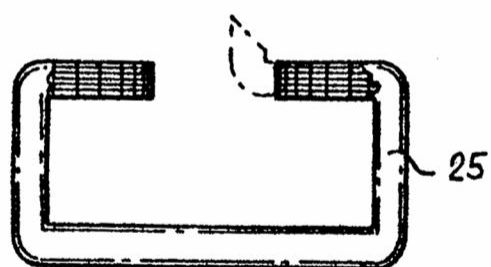
Фиг. 8а



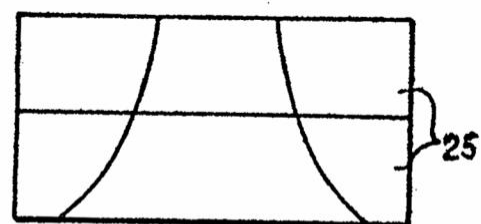
Фиг. 8b



Фиг. 7



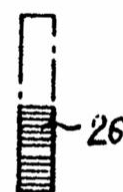
Фиг. 10а



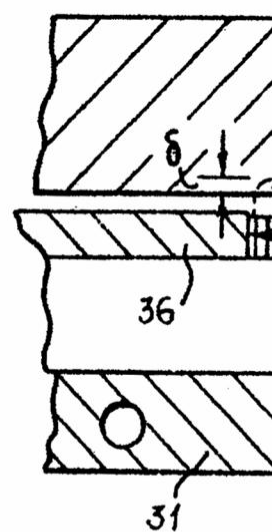
Фиг. 10b

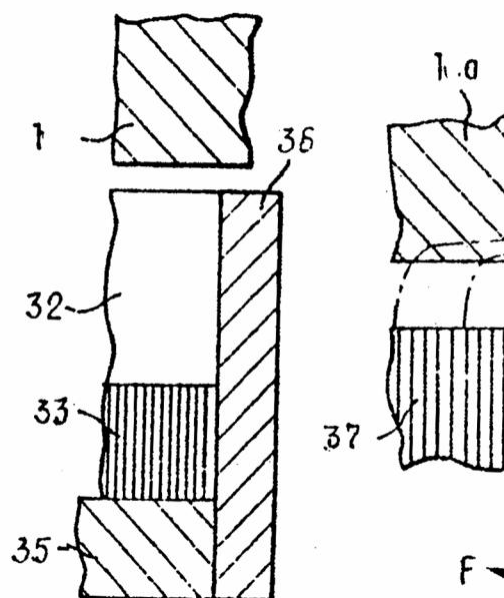


Фиг. 11а

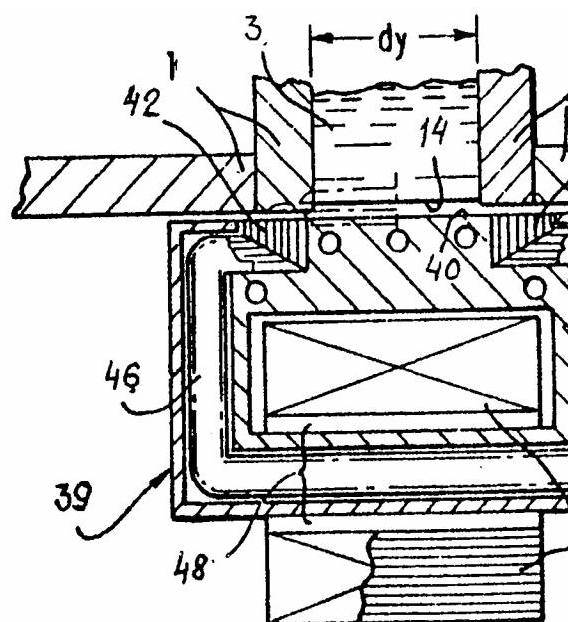


Фиг. 11b

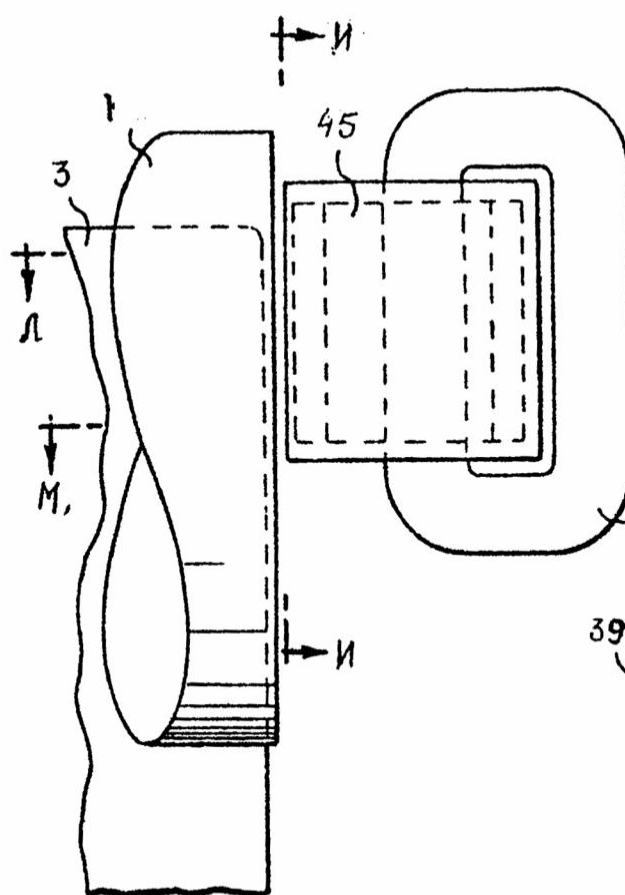




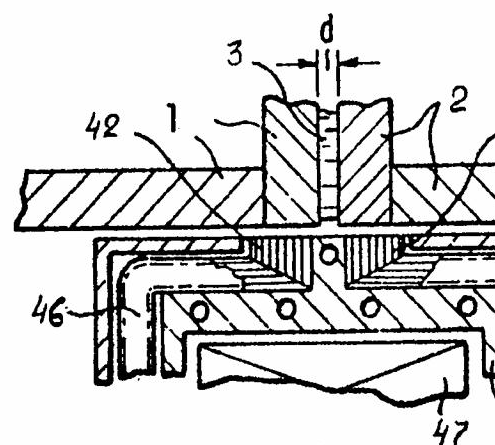
Фиг. 13



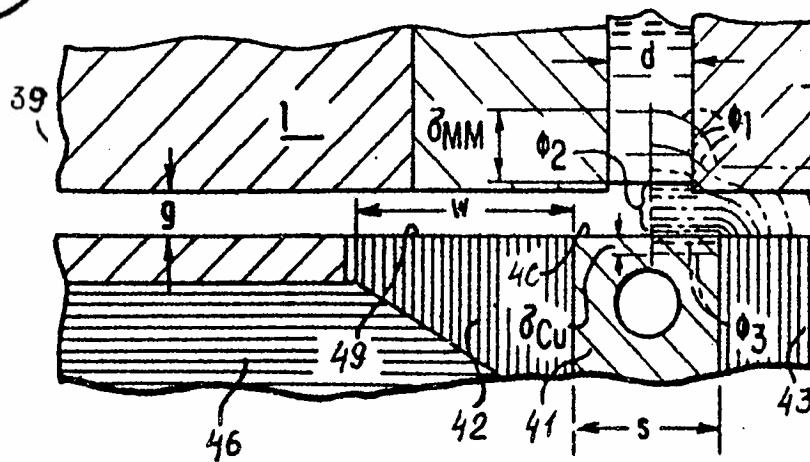
Фиг. 17



Фиг. 15

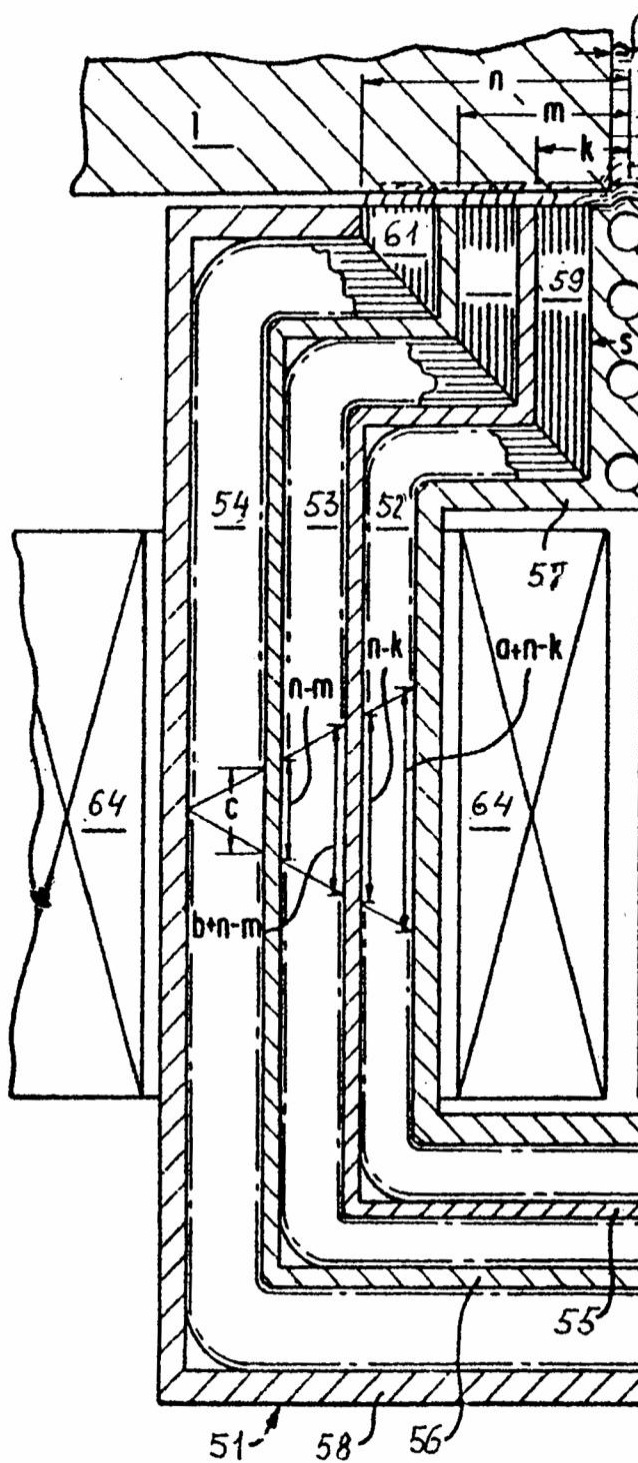


Фиг. 18

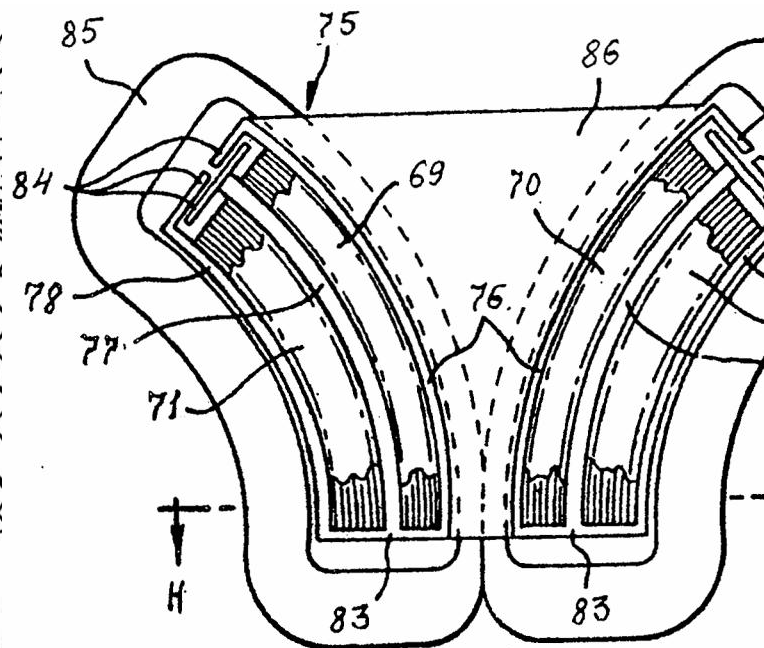


Фиг. 16

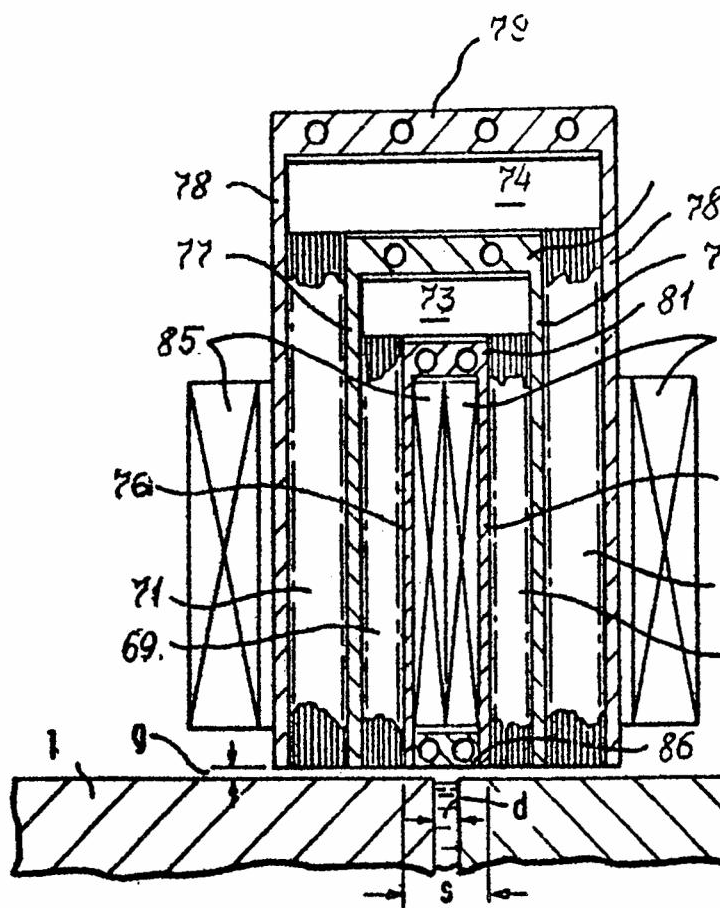
Фиг. 19



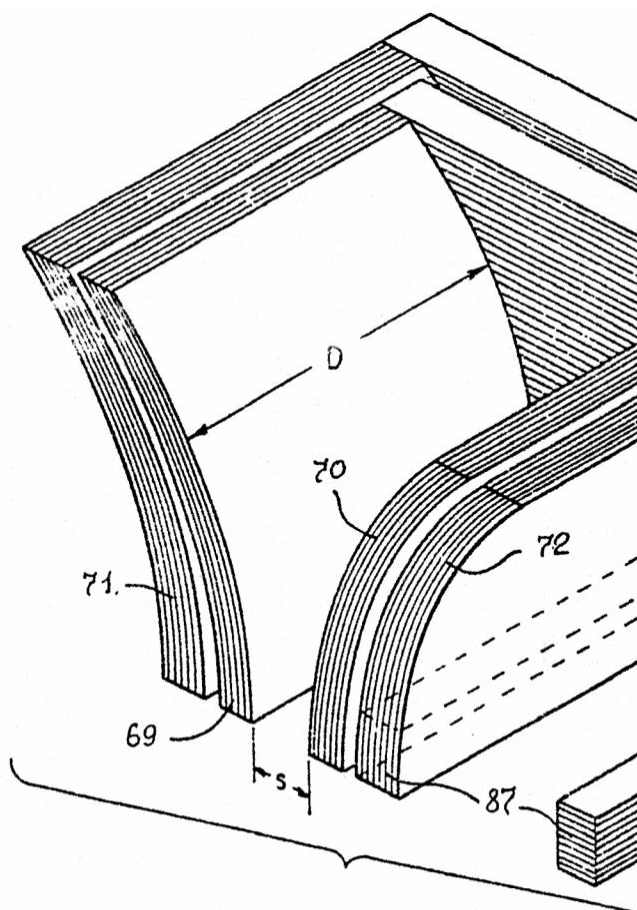
Фиг. 20



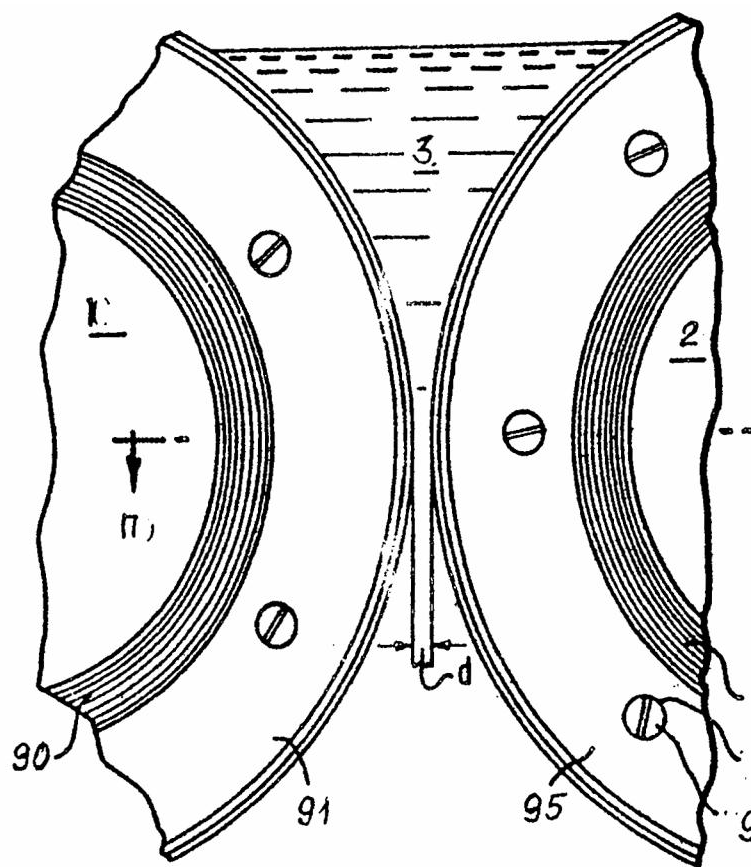
Фиг. 21



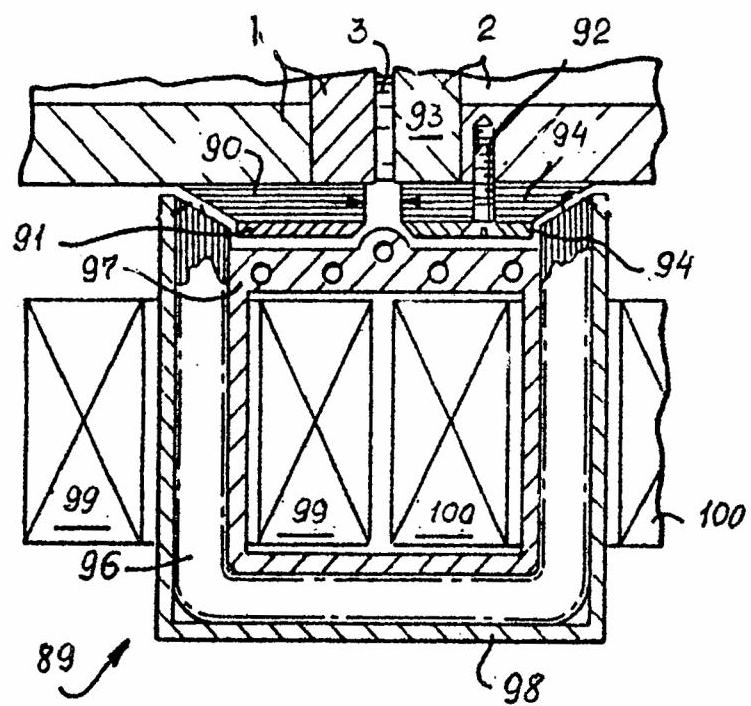
Фиг. 22



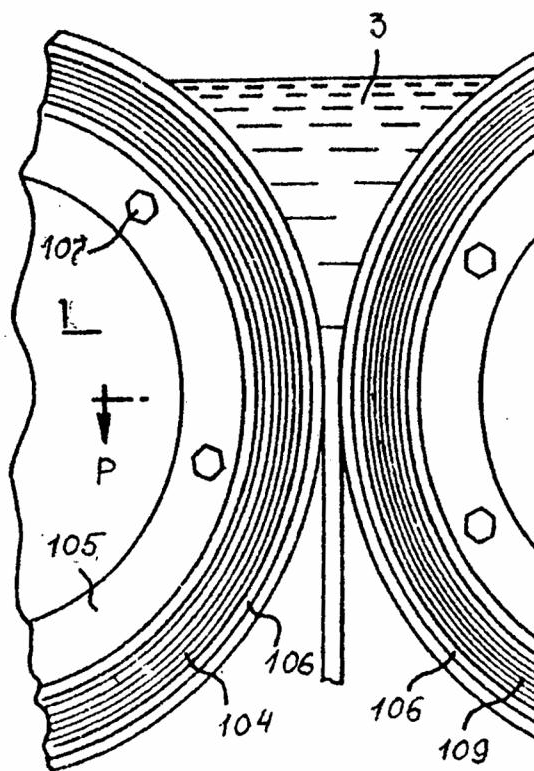
Фиг. 2



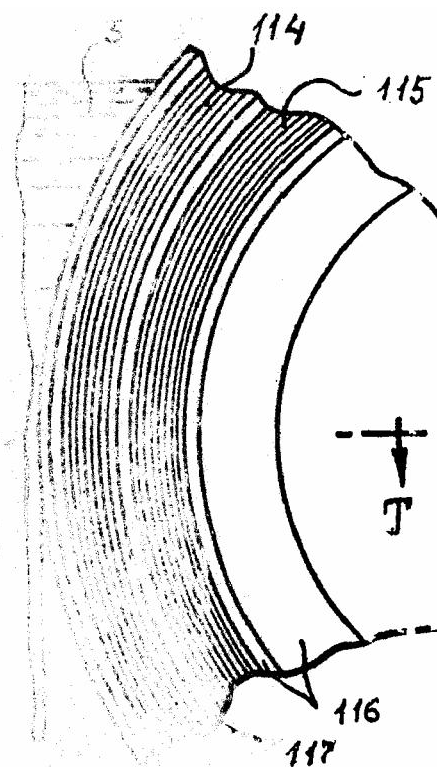
Фиг. 24



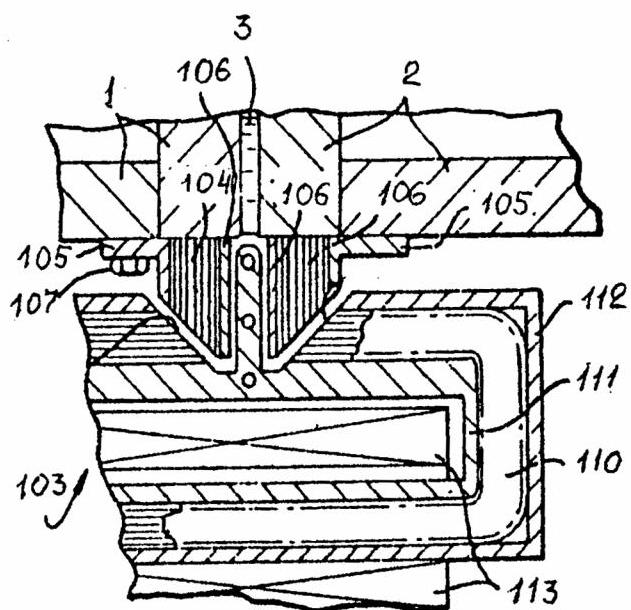
Фиг. 25



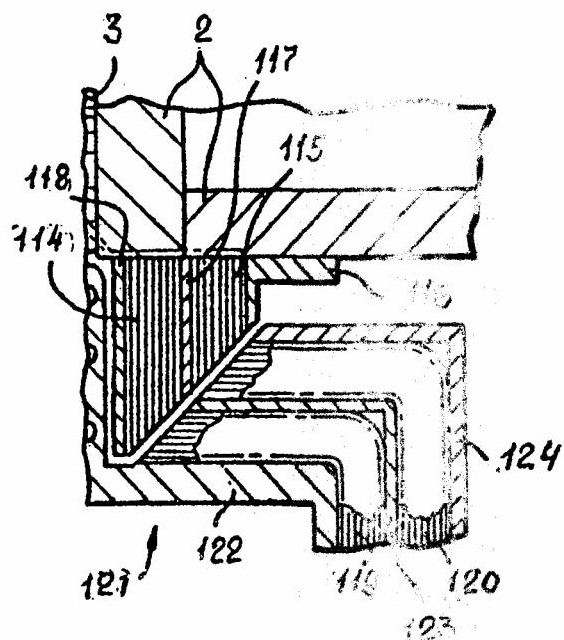
Фиг. 2



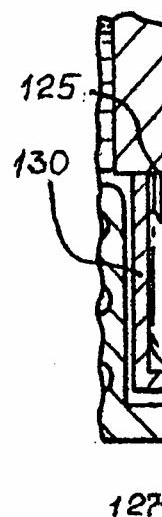
Фиг. 30

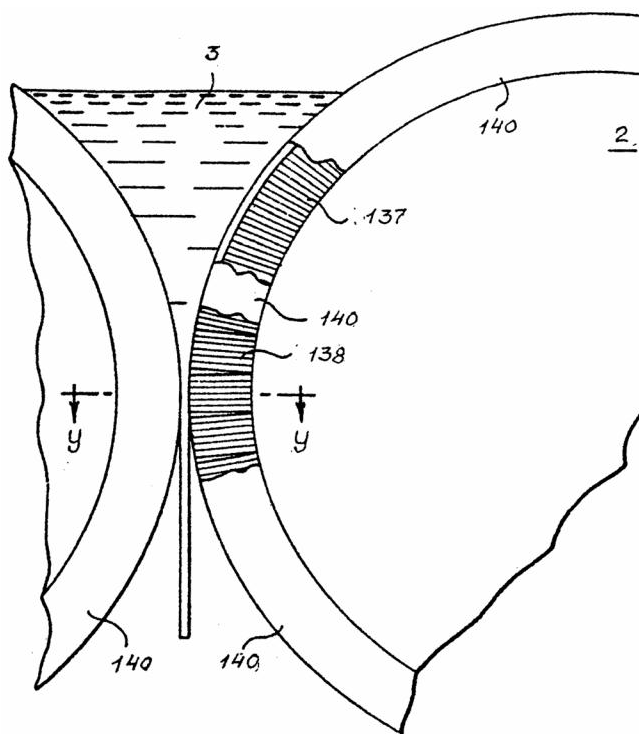


Фиг. 28

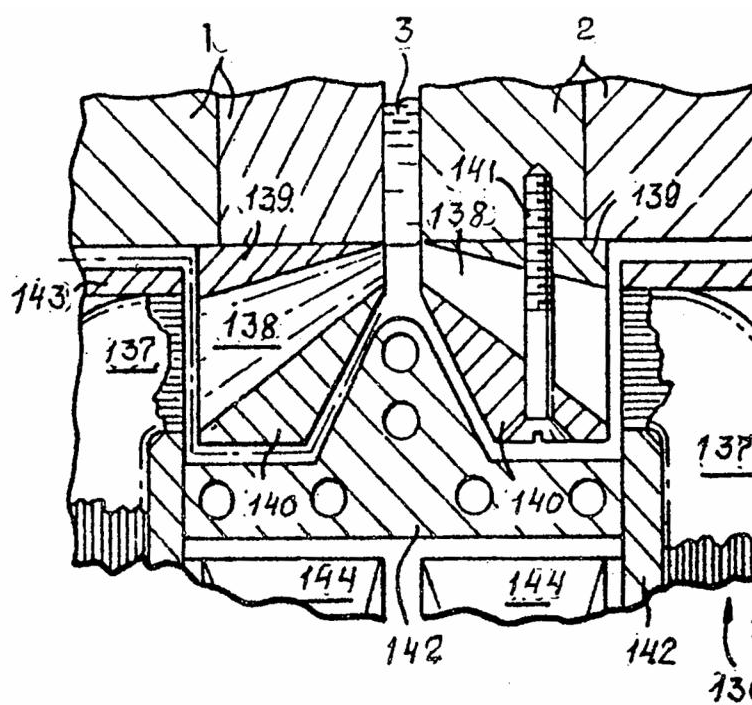


Фиг. 31

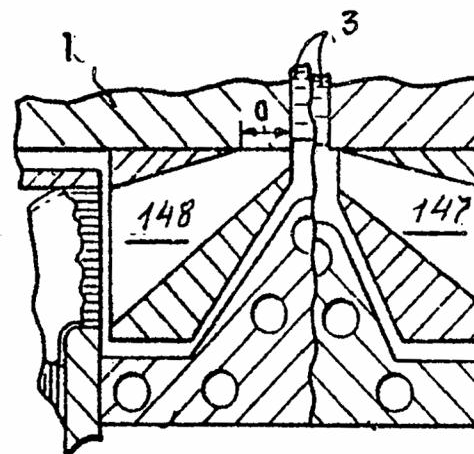




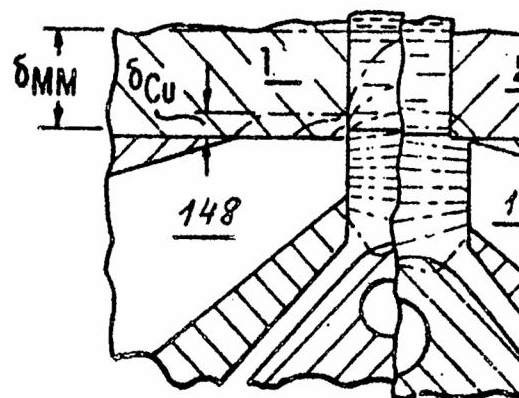
Фиг. 33



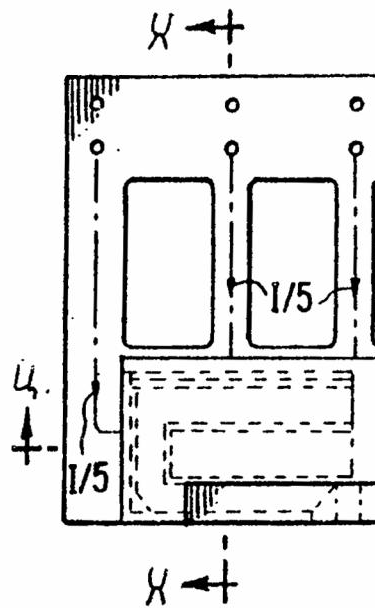
Фиг. 35



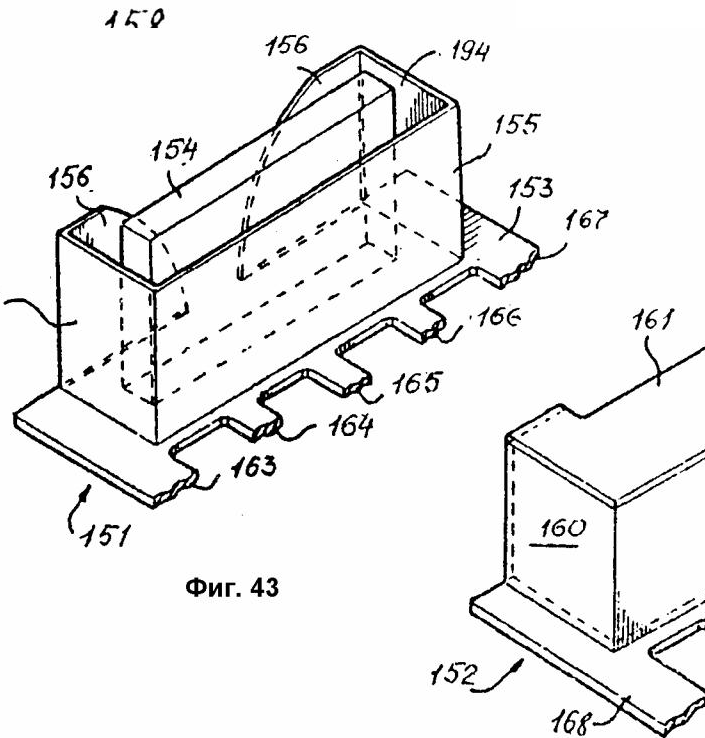
Фиг. 37



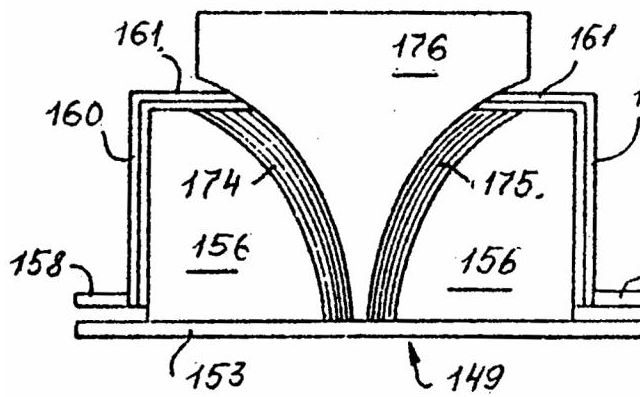
Фиг. 38



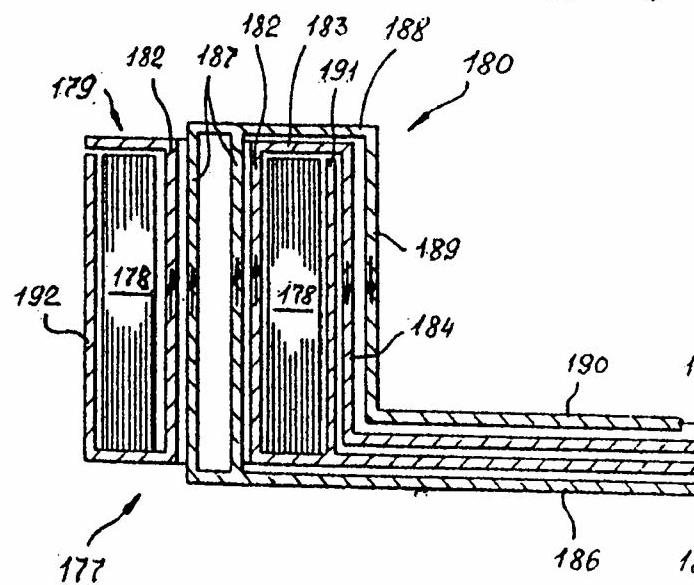
Фиг. 3



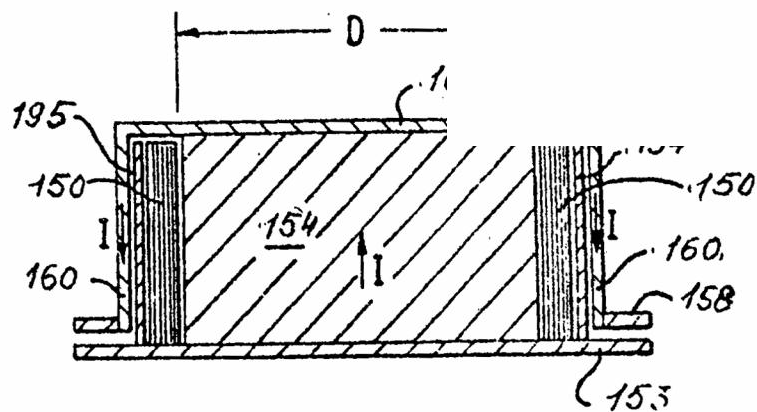
Фиг. 43



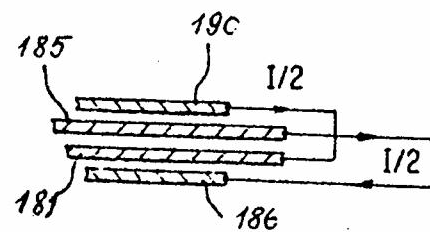
Фиг. 40



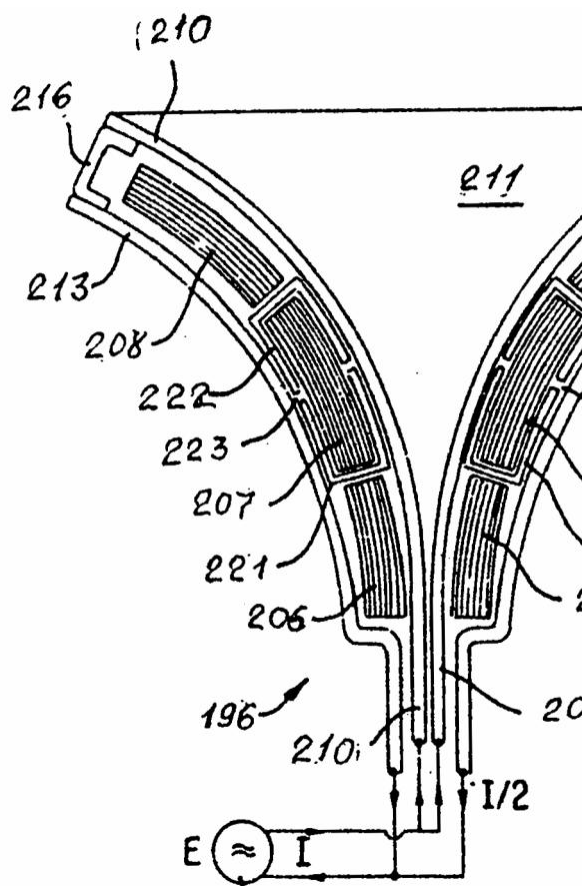
Фиг. 45



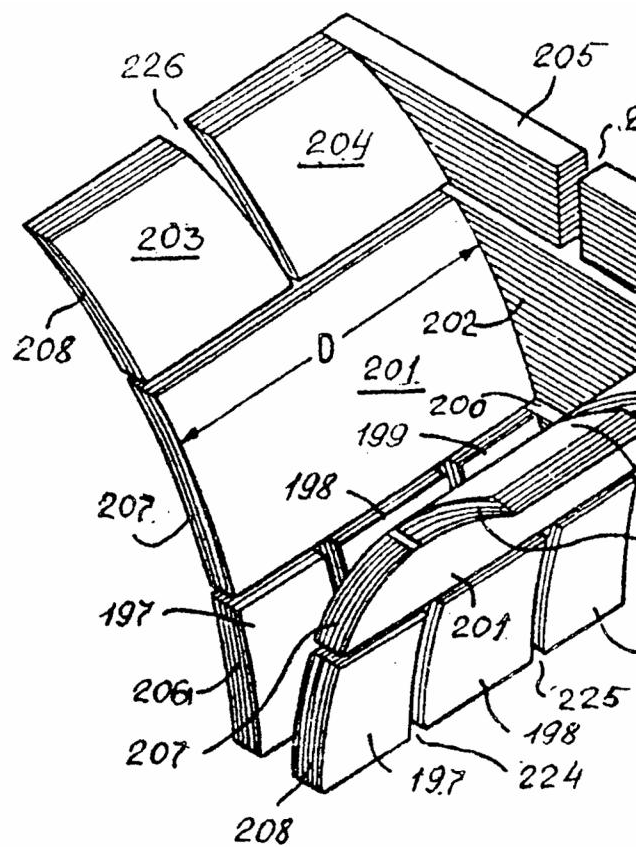
Фиг. 42



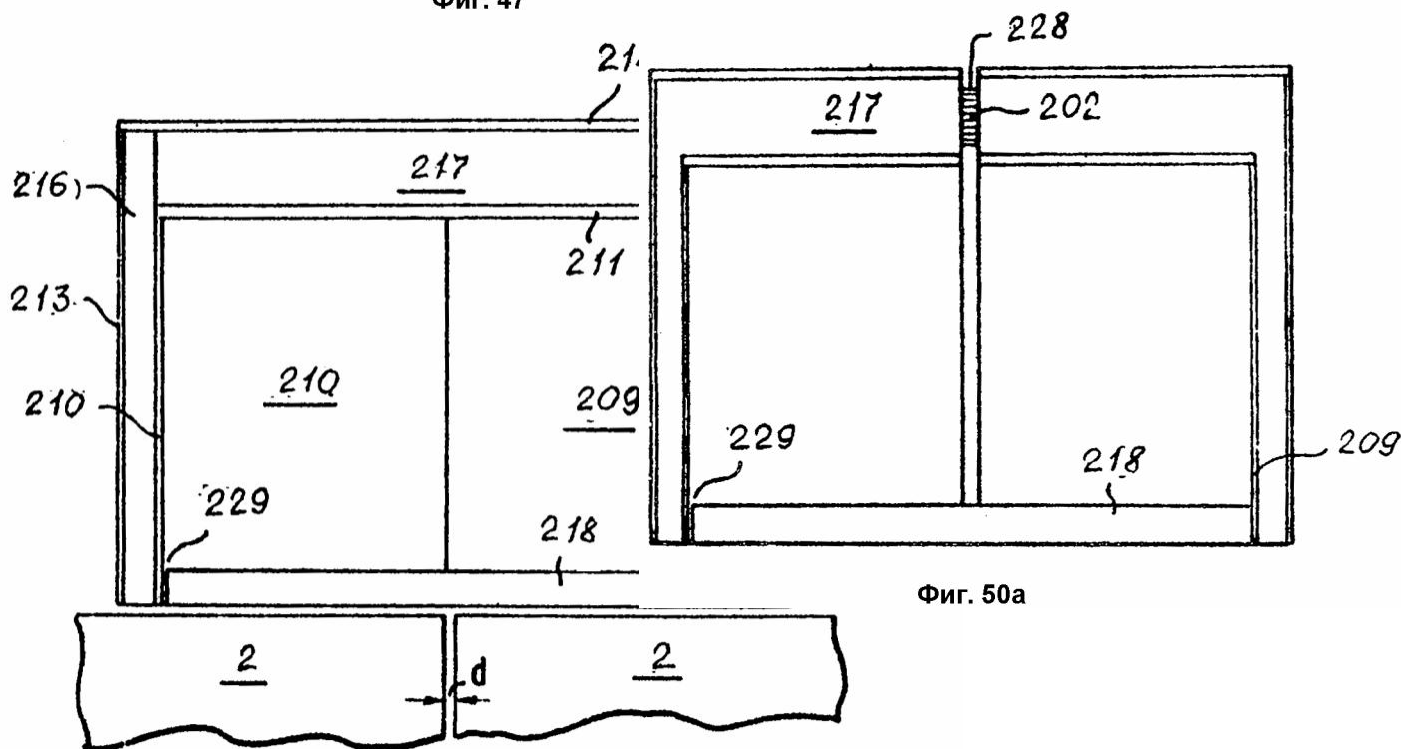
Фиг. 46



Фиг. 47



Фиг. 49



Фиг. 48

Фиг. 50а