

Изобретение относится к литью металлических листов и в частности касается непрерывного вертикального литья металлических листов между вращающимися в противоположных направлениях роликками.

Производство стали занимает центральное место в экономике и является одной из наиболее энергоемких отраслей во многих индустриальных странах. Сталелитейные операции включают производство толсто- и тонколистовой стали. Современные сталепрокатные станы обычно позволяют изготавливать тонкие стальные листы путем литья жидкой стали в форму, где она затвердевает при соприкосновении с холодной поверхностью формы. После охлаждения, как правило, водой, циркулирующей в стенках формы в процессе затвердевания стали, сталь удаляется из формы либо в виде слитка, либо в виде непрерывной листовой заготовки. В любом случае твердая сталь получается сравнительно толстой, например, 6 дюймов и более, и должна подвергаться последующей обработке, чтобы уменьшить толщину листа до требуемой величины и улучшить металлургические свойства. Поверхность полученной в форме стали обычно имеет дефекты, такие, как холодные складки, ликвация, горячие трещины и т. п., являющиеся результатом, в первую очередь, контакта между формой и затвердевающей металлической поверхностью. Кроме того, стальной слиток<sup>®</sup>: или лист, отлитые таким образом, часто характеризуются сегрегацией в поверхностной зоне из-за начального охлаждения металлической поверхности при непосредственном контакте с охладителем. Перед последующими этапами обработки - прокаткой, прессованием, ковкой и т. д., как правило, требуется удаление поверхностного слоя слитка<sup>®</sup> или листа, чтобы убрать поверхностные дефекты и близкую к поверхности зону ликвации. Эти дополнительные операции усложняют и удорожают производство стали.

Уменьшение толщины стальных листов осуществляется на прокатном стане, который представляет собой капитальное оборудование, потребляющее большое количество энергии. Поэтому операция прокатки значительно увеличивает стоимость стального листа. В типовой установке стальную листовую заготовку толщиной 10 дюймов нужно обработать по меньшей мере на десяти прокатных станах, чтобы уменьшить ее толщину. Прокатный стан может иметь длину полмили и стоить 500 миллионов долларов.

Значительное снижение общей стоимости стальных листов и энергии, требуемой для их производства, по сравнению с существующей практикой может быть достигнуто, если листы можно было бы отливать так, чтобы они по форме и размеру были близки к требуемому конечному продукту. Это сократит работу прокатного стана и даст в результате большую экономию энергии. В настоящее время разрабатывается несколько технологий, в которых пытаются реализовать эти преимущества путем формирования стальных листов в процессе литья.

Устройства, рассматриваемые в сталелитейной промышленности, включают литье стальных листов с помощью роликов. Такие устройства первоначально были задуманы более 100 лет назад Г. Бессемером и описаны в [1], [2]. В соответствии с такими установками литья с использованием роликов стальные листы получают путем наливания расплавленной стали между двумя вращающимися в противоположных направлениях роликками. Ролики разделены зазором. Вращение роликов заставляет жидкий металл проходить через зазор между ними. Для того, чтобы удерживать жидкий металл на краях роликов, требуются механические уплотнения. Ролики изготавливаются из металла с высокой теплопроводностью, такого как медь или ее сплавы, и охлаждаются водой, чтобы затвердевание оболочки жидкого металла происходило до того, как он пройдет через зазор между роликками. Металл выходит из роликов в виде полосы или листа. Далее этот лист можно охлаждать струями воды или другим подходящим средством.

Недостаток таких устройств состоит в том, что механические уплотнения, используемые для удержания расплавленного металла на краях роликов, находятся в физическом контакте как с вращающимися роликками, так и с жидким металлом, и поэтому подвергаются смачиванию, протечкам, забиванию, охлаждению и испытывают большие градиенты температуры. Кроме того, контакт между механическими уплотнениями и затвердевающим металлом может вызвать образование неровностей вдоль кромок отлитых таким образом листов, что сводит на нет преимущества способа литья с помощью роликов.

Наиболее близкой к предлагаемой является установка для непрерывного литья металла, содержащая установленные с зазором горизонтальные валки и средства удержания жидкого металла с торцевых сторон валков, выполненные в виде электромагнитов переменного тока, магнитные полюса одного из которых находятся вблизи зазора между валками с одной торцевой их стороны, а магнитные полюса другого вблизи зазора между валками с другой их стороны [3].

Недостатком такого устройства является неэффективное удержание расплавленного металла, так как электромагнитный поток воздействует на него в зоне равных торцов роликов, что приводит к некачественной отливке (неровности, заплывы, раковины на торцах отливаемой полосы), особенно при литье тонких металлических листов.

В основу изобретения положена задача создать усовершенствованную установку для непрерывного литья металла, в которой, путем усовершенствования средства удержания жидкого металла обеспечивается повышение качества отливаемой полосы.

Поставленная задача решена тем, что в установке для непрерывного литья металла, содержащей установленные с зазором горизонтальные валки и средства удержания жидкого металла с торцевых сторон валков, выполненные в виде электромагнитов переменного тока, магнитные полюса одного из которых находятся вблизи зазора между валками с одной торцевой их стороны, а магнитные полюса другого - вблизи зазора между валками с другой их стороны, согласно изобретению, магнитные полюса электромагнитов расположены с возможностью создания магнитного поля, расположенного горизонтально, а средства удержания металла дополнительно содержат магнитопроницаемые крайние части, соответственно расположенные с торцевых сторон валков между магнитными полюсами соответствующих электромагнитов с зазором относительно валков;

электромагниты выполнены с возможностью создания магнитного поля только одной частоты, а крайние части выполнены из ферромагнитного материала и к каждой из них прикреплен слой высокотемпературной керамики, расположенный вблизи жидкого металла, причем каждая крайняя часть снабжена тепловым

экраном с жидкостным охлаждением, расположенным под слоем высокотемпературной керамики.

Магнитные полюса каждого электромагнита заходят в осевом направлении соответственно во внутренние пространства валков, ограниченные каждое кольцеобразной крайней частью соответствующего валка, проходящей у соответствующего его торца по окружности.

Крайние части валков имеют меньшее магнитное сопротивление переменному магнитному потоку, чем их средние части, поверхности средних частей валков выполнены из меди или медного сплава, а крайние части валков выполнены из нержавеющей стали с пазами, расположенными по окружностям этих крайних частей и имеющим меньшее магнитное сопротивление переменному магнитному потоку, чем средние части валков, пазы заполнены керамикой или содержат металл с высоким удельным сопротивлением, изолированным от стенок пазов, а также нержавеющей сталь.

Пазы заполнены пластинами металла с высокой проницаемостью, изолированными друг от друга и от стенок пазов.

Крайние части валков содержат несколько колец из материала с меньшим магнитным сопротивлением переменному магнитному потоку, чем средние части валков, причем каждые два соседних кольца крайних частей разделены кольцом из материала с более высоким магнитным сопротивлением переменному магнитному потоку и могут быть выполнены из керамики и из металла с высоким удельным сопротивлением и изолированы от соседних колец и от средней части валков.

Кольца крайних частей могут быть выполнены из нержавеющей стали, из металла с высокой магнитной проницаемостью и изолированы от соседних колец и от средней части валков.

Магнитные полюса электромагнитов выполнены регулируемые с возможностью изменения формы горизонтального переменного магнитного поля между магнитными полюсами и полюса выполнены с возможностью перемещения и содержат несколько отдельных элементов, каждый из которых выполнен с возможностью независимого регулирования напряженности магнитного поля.

Средства удержания жидкого металла дополнительно содержат датчик, выполненный с возможностью контроля размеров или положения ванны металла, разливаемого между роликами, дополнительно содержат средства регулирования напряженности горизонтально переменного магнитного поля, создаваемого магнитными полюсами, в соответствии с сигналами датчиков.

Магнитные полюса электромагнитов выполнены кольцевыми, жестко прикреплены к валкам с внутренней стороны внутри их соответствующих крайних частей и расположены вблизи сердечников соответствующих магнитов, не касаясь их.

Сердечники электромагнитов имеют трапециевидную или квадратную форму.

Электромагнит имеет две катушки, охватывающие плечи сердечника, соединяющие его с магнитными полюсами и снабжен экраном для экранирования вихревыми токами, окружающим сердечник электромагнита с зазором, предотвращающим образование экраном короткозамкнутого витка, при этом экран выполнен из металла с низким удельным, сопротивлением или из меди или медного сплава, или алюминия и окружает так же катушку соответствующего электромагнита.

Каждый электромагнит снабжен вторым экраном для экранирования вихревыми токами, окружающим сердечник и катушку электромагнита с зазором, предотвращающим образование этим вторым экраном короткозамкнутого витка, второй экран выполнен из металла с низким удельным сопротивлением или из меди или медного сплава, или алюминия и, по меньшей мере, один из экранов каждого электромагнита снабжен средствами охлаждения.

Средства удержания жидкого металла содержат дополнительные магниты, соответственно расположенные с торцевых сторон валков так, что полюса каждого из них находятся по обе стороны зазора между валками.

Благодаря этим отличиям обеспечивается эффективное удержание жидкого металла горизонтальным переменным магнитным полем по краям параллельных горизонтальных роликов в процессе литья твердого металлического листа путем вращения роликов в противоположных направлениях, что позволяет повысить качество литья, особенно тонких металлических листов, имеющих хорошие металлургические свойства и поверхностные характеристики.

Сущность изобретения поясняется чертежами, на которых:

На фиг. 1 изображено устройство для литья с роликами, вид спереди, поперечный разрез на фиг. 2 - разрез части ролика, изображенного на фиг. 1; на фиг. 3 - разрез I-I на фиг. 1; на фиг. 4 - разрез II-II на фиг. 1; на фиг. 5, поперечный разрез сердечника по линии III-III на фиг. 3; на фиг. 6 - сердечник и катушка, согласно одному из вариантов осуществления изобретения, общий вид; на фиг. 7 - сердечник и катушка, согласно другому варианту осуществления изобретения, общий вид; на фиг. 8 - разрез сердечника, изображенного на фиг. 7; на фиг. 9 - сердечник согласно заданному варианту осуществления изобретения, вид сверху; на фиг. 10 - устройство для литья, согласно другому варианту осуществления изобретения, вид спереди, вертикальный разрез; на фиг. 11 - вид спереди на электромагнит в вертикальном разрезе, согласно еще одному варианту осуществления изобретения, и вид сбоку на ролики; на фиг. 12 - горизонтальный разрез электромагнита, согласно еще одному варианту осуществления изобретения; на фиг. 13 - вид спереди на участок крайней части ролика, согласно другому варианту осуществления изобретения; на фиг. 14 - вид сверху на крайнюю часть ролика, изображенную на фиг. 13; на фиг. 15 - вид на крайнюю часть ролика, согласно еще одному варианту осуществления изобретения, на фиг. 16 - разрез IV-IV на фиг. 11, на фиг. 17 - устройство для литья, согласно еще одному варианту осуществления изобретения, вид сбоку; на фиг. 18 - устройство для литья, согласно еще одному варианту осуществления изобретения, вид сбоку; на фиг. 19 - горизонтальный разрез по линии V-V фиг. 18.

Настоящее изобретение решает проблемы литья с использованием роликов путем создания новой конструкции литейного устройства, особенность которого состоит в. обеспечении электромагнитного удержаний жидкого металла на краях роликов. Изобретение обеспечивает формирование горизонтального переменного магнитного поля для ограничения ванны жидкого металла между цилиндрическими

поверхностями двух роликов, когда жидкий металл отливается в тонкий вертикально расположенный лист путем вращения роликов в противоположных направлениях, вынуждающего жидкий металл протекать между роликами. Согласно изобретению, горизонтальное переменное магнитное поле также служит для предотвращения или регулирования протекания металла через сливные отверстия или каналы другой геометрии. Давление  $p$ , создаваемое ванной жидкого металла, складывается, в основном, из ферростатического давлений  $p_p$  и давления  $p_k$ , оказываемого роликами через затвердевающий разливаемый металл:

$$p = p_h + p_r \quad (1)$$

Магнитное давление  $p_r$ , создаваемое горизонтальным переменным магнитным полем  $B$ , должно уравновесить давление от верхней части ванны металла до зоны, где затвердевший металл образовал достаточно толстую оболочку, чтобы противостоять давлению. Магнитное давление равно

$$p_m = B^2 / 2\mu_0 \quad (2)$$

где константа  $\mu_0$  - магнитная проницаемость свободного пространства,  $B$  - индукция магнитного поля.

Ферростатическое давление  $p_p$ , называемое ванной жидкого металла, возрастает линейно с расстоянием  $h$ , проходящим вниз от поверхности ванны металла:

$$p_h = g\rho h \quad (3)$$

где  $\rho$  - плотность металла  $g$  - ускорение силы тяжести.

Индукция  $B$  магнитного поля, необходимого для противодействия ферростатическому давлению, может быть найдена путем приравнивания магнитного и ферростатического давления

$$B = (2\mu_0 g\rho h)^{1/2} = kh^{1/2} \quad (4)$$

Для литья стали  $K$  приблизительно равно 450, если  $h$  измерено в сантиметрах и  $B$  - в гауссах.

Давление  $p_r$ , создаваемое роликами, зависит от свойств разливаемого металла, диаметров роликов, скорости их вращения и от толщины отливаемой металлической полосы или листа. Установлено, что в случае стальных листов  $p_r$  может во много раз превышать гидростатическое давление  $p_h$ .

Частота переменного магнитного поля выбирается настолько низкой, насколько это практически согласуется с расстоянием между роликами и расстоянием между концами роликов, и обычно лежит в пределах от 25 39 Гц до 16000 Гц.

На фиг. 1 показан поперечный разрез устройства для литья, выполненного согласно настоящему изобретению. Два ролика 1 и 2 расположены в горизонтальной плоскости параллельно друг к другу и в непосредственной близости друг к другу так, что жидкий металл 3 может удерживаться между ними выше той точки, где ролики подходят наиболее близко друг к другу. Ролики 1 и 2 разделены зазором  $d$  (показанным на фиг. 3). В результате вращения роликов 1 и 2 в противоположных направлениях, показанных стрелками  $a$  и  $b$ , и действия силы тяжести жидкий металл 3 течет через зазор  $d$  между роликами 1 и 2 вниз.

Магнитные полюса 4 и 5, расположенные по обе стороны от зазора  $d$  между роликами 1 и 2, генерируют переменное магнитное поле, которое создает электромагнитную, направленную внутрь силу, препятствующую вытеканию жидкого металла 3 на краях роликов 1 и 2 с боковых сторон. В данной заявке говорится об ограничении объема жидкого металла с одного конца пары роликов, однако нужно иметь в виду, что изобретение предусматривает ограничение объем жидкого металла, находящегося между двумя противоположно вращающимися роликами с обоих их концов.

Ролики 1 и 2 имеют средства для охлаждения металла за счет теплопроводности, благодаря чему металл при прохождении между роликами затвердевает. Согласно фиг. 2, средства для охлаждения могут содержать множество циркуляционных охлаждаемых водой каналов 6, расположенных внутри ролика. Как видно на фиг. 1, после выхода из роликов 1 и 2 металл затвердевает превращаясь в лист 7 с толщиной, равной величине зазора  $d$  между роликами 1 и 2. Далее отлитый металлический лист охлаждается под роликами 1 и 2 направленными на него струями 8 охладителя, например, воды или воздуха. Металлический лист направляется и выводится из роликов механическими направляющими 9.

На фиг. 3 дан разрез устройства, изображенного на фиг. 1, в горизонтальной плоскости по линии 1-1, показывающий расположение магнитных полюсов относительно роликов. Ролики 1 и 2 разделены зазором  $d$ , через который может проходить разливаемый металл 7. Сердечник 10 содержит ярмо 11 и полюса 4 и 5. Вокруг сердечника намотаны катушки 12 и 13. По катушкам 12 и 13 протекает электрический ток от источника переменного тока, в результате чего сердечник намагничивается и наводит между полюсами 4 и 5 магнитное поле. Основные части магнитных полюсов 4 и 5 находятся внутри внешних краев 14 и 15 роликов. Между неподвижными магнитными полюсами 4 и 5 и роликами 1 и 2 имеется постоянный радиальный зазор, достаточно большой для обеспечения свободного вращения роликов. В осевом направлении полюса 4 и 5 заходят за концы роликов 1 и 2 на небольшое расстояние.

Цилиндрические поверхности роликов имеют средние части 16, которые входят в контакт с жидким металлом. Эти средние части 16 выполнены из материала с высокой теплопроводностью, так что средства охлаждения, используемые совместно с роликами, могут отводить тепло от жидкого металла, облегчая тем самым литейный процесс. В рассматриваемом варианте осуществления изобретения средства охлаждения, используемые в сочетании с роликами, содержат охлаждаемые водой каналы 6 внутри роликов 1 и 2, как показано на фиг. 2. В этом варианте осуществления изобретения средние части 16 роликов 1 и 2 выполнены из медного сплава.

Ролики 1 и 2 имеют также внешние крайние части 17 и 18, образующие продолжение средних частей 16 роликов. Крайние части 17 и 18 расположены в зоне между магнитными полюсами 4 и 5. Полюса 4 и 5 создают магнитное поле, которое в данном варианте осуществления изобретения проникает через крайние части 17 и 18 роликов 1 и 2. Поэтому в этом случае крайние части 17 и 18 должны быть сделаны из материала, способного пропускать магнитное поле, например, из нержавеющей стали.

Удельное сопротивление нержавеющей стали (приблизительно 70 микроом на см при комнатной

температуре) хорошо согласуется с удельным сопротивлением жидкой стали (приблизительно 140 микроом на см), поэтому горизонтальный магнитный поток может проникать через оба металла. Вследствие образования в жидком металле вихревых токов поле затухает экспоненциально с увеличением расстояния Z от краев ванны металла. Таким образом, магнитная сила  $F_i$ , действующая на край ванны и направленная к ее центру, как показано на фиг. 4, больше, чем противоположно направленная сила  $F_g$ , и результирующая удерживающая сила F равна

$$F = 1/\mu_0 \int_{z_1}^{z_2} B \frac{\partial B}{\partial z} dz \quad (5)$$

Под действием этой силы жидкий металл может удерживаться между роликами.

Как видно на фиг. 3, края 14 и 15 роликов на внутренних участках изогнуты и выполнены коническими для соответствия магнитным полюсам 4 и 5. Аналогично, полюса 4 и 5 в основном соответствуют по форме внешней части роликов 1 и 2. Ядро 11 и части полюсов 4 и 5 за исключением их концов окружены экраном 19. Ядро 11 может представлять собой пластинчатый сердечник. Экран 19 окружает сердечник 11 без образования короткозамкнутого витка, как показано на фиг. 4. Экран 19 может быть образован двумя U-образными желобами 20 и 21, выполненными из листовой стали и изолированными друг от друга по меньшей мере одним зазором 22 (фиг. 5). Материал экрана 19 должен обладать низким удельным сопротивлением, чтобы предотвратить распространение магнитного поля путем экранирования вихревыми токами и тем самым уменьшить утечку магнитного потока, улучшить формирование магнитного поля и повысить эффективность цепи. Экран 19 может также служить в качестве теплового экрана для магнита и с этой целью может охлаждаться водой. Идеальным материалом для экрана 19, имеющим низкое удельное сопротивление и высокую теплопроводность, является медь или ее сплавы.

Фиг. 4 изображает горизонтальный разрез по линии II-II устройства, показанного на фиг. 1. Этот разрез проходит через точку, смещенную по вертикали относительно горизонтальных осей роликов 1 и 2. На фиг. 4 иллюстрируется удержание жидкого металла роликами 1 и 2 и взаимодействие магнитного поля B и вихревых токов I. На фиг. 4 показаны также ролики 1 и 2, имеющие средние части 14 и 15 и крайние части 17 и 18, сердечник 10 с ядром 11, полюса 4 и 5, катушки 12 и 13 и экран 19.

Жидкий металл 3 удерживается между концами роликов 1 и 2 магнитным полем B (показанным пунктирными линиями), образованным между полюсами 4 и 5. Магнитное поле B вызывает возникновение в жидком металле вихревых токов I, направление которых показано головками стрелок, выходящих из плоскости чертежа, и хвостами стрелок, входящих в плоскость чертежа, а также возникновение результирующей электромагнитной силы F, направленной во внутреннюю часть ванны жидкого металла для его удержания. Удерживающие силы F являются результатом взаимодействия горизонтального поля B и вихревых токов i, индуцированных в жидком металле магнитным полем B.

В соответствии с изобретением, в зависимости от конкретных требований к литейному процессу в электромагнитах могут быть использованы сердечники и катушки различной геометрии. На фиг. 6 дан общий вид сердечника 10 и катушек 12 и 13, изображенных на фиг. 1-5. Сердечник имеет пластинчатое ядро 11 и полюса 4 и 5 дугообразной формы в соответствии с формой внутренних частей роликов 1 и 2. Катушки 12 и 13 охватывают части 23 и 24 пластинчатого сердечника магнита 10. Катушки 12 и 13 подключены к источнику 25 переменного тока, обеспечивающему переменный ток  $I_s$ , возбуждающий сердечник 10. Катушки могут быть подключены к источнику тока последовательно или параллельно в зависимости от конструктивных соображений. Для упрощения чертежа экран вокруг сердечника, экранирующий его посредством вихревых токов, не показан.

Другой вариант осуществления изобретения представлен на фиг. 7. Здесь электромагнит 26 имеет квадратный сердечник 27, соединяющий полюса 28 и 29. Полюса 28 и 29 в этом варианте осуществления изобретения имеют профилированные передние поверхности 30 и 31 и квадратные задние поверхности 32 для соответствия с квадратной формой сердечника 27. Как видно на срезе полюса 29, сердечник окружен изолированным медным экраном 33 для уменьшения потока рассеяния. В экране 33 имеется зазор 34, чтобы экран 33 не образовывал короткозамкнутого витка вокруг сердечника. На сердечник 27 и экран 33 намотана катушка 35. В данном варианте осуществления изобретения катушка 35 является однослойной в отличие от пары катушек в предыдущем варианте. Катушка 35 соединена с источником 25 переменного тока  $I_s$ , который возбуждает сердечник 26. Поток рассеяния может быть дополнительно уменьшен путем заключения катушки 35 в медный экран 36 и 37, как показано на фиг. 8. Этот дополнительный экран 36 и 37 уменьшает площадь поперечного сечения воздушного пространства для потока рассеяния вокруг витков катушки и тем самым величину потока рассеяния. В еще одном варианте осуществления устройства внутренний экран 33 может отсутствовать, а узел сердечника и катушки может быть окружен только внешним экраном 36 и 37.

На фиг. 9 показан другой вариант выполнения сердечника, согласно которому сердечник 38 имеет вид усеченной пирамиды с прямоугольными плоскими плечами, соединяющими трапециевидное ядро 40 с полюсами 41 и 42. Преимущество этого сердечника, так же, как и сердечника согласно фиг. 6, состоит в простоте конструкции.

Еще одна модификация сердечника представлена на фиг. 10, где жидкий металл 3 отливается в лист 7 между роликами 1 и 2. Как и в рассмотренных выше вариантах, магнитные полюса 43 и 44 ограничивают объем жидкого металла по краям роликов 1 и 2. Однако здесь положение магнитных полюсов можно регулировать. Полюса 43 и 44 можно наклонять и перемещать, располагая их ближе к крайним частям роликов или дальше от них. Это дает возможность регулировки магнитного поля. Согласно фиг. 10 верхние части полюсов 43 и 44 находятся дальше от крайних частей роликов, чем нижние части. Как показано на фиг. 10 пунктирными линиями, изображающими магнитное поле B, если верхние концы полюсов удалены на большее расстояние, то магнитное поле может быть сделано сравнительно сильным вблизи нижних концов и более слабым у верхних концов полюсов по сравнению с магнитным полем при конфигурации полюсов согласно фиг. 1. Эту возможность регулировки можно использовать при литье металлических листов

различной толщины, когда для удержания жидкого металла требуются силы разной величины.

На фиг. 11 показан другой вариант выполнения электромагнита, обеспечивающий наибольшую гибкость по сравнению с рассмотренными конструкциями. (На фиг. 11 изображен только один магнитный полюс, но следует понимать, что напротив этого полюса должен быть расположен идентичный ему полюс в другом ролике).

В соответствии с фиг. 11 каждый магнитный полюс разделен на три отдельных магнитных элемента 45, 46 и 47. Каждый из этих элементов представляет собой независимый электромагнит, содержащий сердечник 48, катушку 49 возбуждения и экран 19 для экранирования вихревыми токами, охватывающий соответствующие катушку и сердечник и имеющий воздушный зазор, чтобы этот экран не создавал короткозамкнутого витка, так же как на фиг. 5 и 8. Магнитный элемент 45 удерживает верхний участок боковой стенки ванны 3 жидкого металла, элемент 46 удерживает средний участок боковой стенки ванны 3 и элемент 47 - нижний участок.

В этом варианте осуществления изобретения каждый отдельный магнитный элемент управляется своим током  $I_{sa}$ ,  $I_{sb}$ ,  $I_{sc}$ . Эти магнитные элементы могут питаться с одного источника 50 переменного тока или от трех отдельных источников. В случае использования одного источника переменного тока последовательно с катушками двух магнитных элементов могут быть соединены два регулируемых реактивных элемента, чтобы магнитные поля, создаваемые тремя магнитными элементами, можно было регулировать независимо. При этом постоянная времени ( $L/R$ , индуктивность/сопротивление) реактивных элементов должна быть такой же, как постоянная времени магнитов, чтобы создаваемые тремя независимыми магнитами потоки были в фазе. Если используются три независимых "источника переменного тока, то следует обратить внимание на то, чтобы эти источники имели правильное фазовое соотношение. Благодаря тому, что каждый элемент можно регулировать по отдельности, достигается высокая степень регулируемости общего магнитного поля. Эту возможность регулирования можно использовать для оптимизации работы в изменяющихся условиях, например, для получения листов различной толщины, при работе с различными металлами или сплавами, в различных температурных условиях и при различных условиях пуска и останова.

Для контроля положения верхнего, среднего и нижнего участков боковой стенки ванны металла, удерживаемой магнитным полем, могут быть использованы датчики 51 в цепях обратной связи. При любом отклонении от данного положения вырабатывается сигнал ошибки, который после соответствующего усиления изменяет питание соответствующего магнитного элемента так, чтобы восстановить заданное положение соответствующего участка боковой стенки ванны металла. Эти датчики могут содержать источники дискретных лучей, направленных параллельно боковой стенке ванны с одной стороны, и приемник указанных лучей, расположенный с другой стороны (луч прерывается, когда боковая стенка ванны перемещается ближе к магниту). В другом варианте дискретные лучи направляются перпендикулярно боковой стенке ванны, и отраженные от нее лучи принимаются приемником и используются для определения положения этой боковой стенки. Датчики могут быть также выполнены в виде переменных конденсаторов, в которых контролируемый участок боковой стенки ванны является одним электродом, а другой электрод расположен на фиксированном расстоянии от боковой стенки параллельно ей. Кроме того, датчик может представлять собой измеритель импеданса цепи возбуждения магнита, который изменяется с изменением потокоцепления соответствующего участка боковой стенки ванны металла.

Еще одна конструкция электромагнита дана на фиг. 12, изображающей горизонтальный разрез одного конца пары роликов. В этой конструкции полюса 52 и 53 имеют форму оброчей, находятся внутри роликов 1 и 2 и прикреплены к ним за их крайними частями 17 и 18 соответственно. Таким образом, полюса 52 и 53 будут вращаться вместе с роликами. Между частями 52 и 53 сердечника вблизи зоны, где производится литье, расположен участок 56 экрана-57. Кольцевые полюса 52 и 53 выполнены из ферромагнитного материала. Как и в предыдущих конструкциях, катушка 58 намагничивает ярмо 59 и плечи 54 и 55. Экраны 57 и 60, 61 для экранирования вихревыми токами ограничивают магнитный поток в пределах ярма 59, плеч 54 и 55 сердечника и полюсов 52 и 53, уменьшая поток рассеяния, как описано выше. Экраны 57 и 60, 61 могут служить для теплового экранирования или в качестве средств охлаждения для защиты катушки или магнита. Несмотря на то, что полюса 52 и 53 отделены от плеч 54 и 55 и вращаются с роликами 1 и 2, они намагничиваются благодаря тесной близости к плечам 54 и 55 через сравнительно небольшие зазоры 62 и 63. Преимущество данного варианта выполнения магнита состоит в том, что полюса приближены друг к другу настолько, насколько это возможно физически, т. е. находятся внутри крайних частей роликов. Это упрощает форму магнитного ярма и позволяет использовать различные ярма и катушки, когда ролики 1, 2 и полюса 52, 53 используются при литье металлических листов различной толщины. Например, для литья листов толщиной 0,4 дюйма должен быть применен более мощный магнит, чем для литья листов толщиной 0,04 дюйма.

Как описано выше и показано на фиг. 3, 4 и 12, магнитное поле проникает через внешние крайние части роликов и ограничивают ванну жидкого металла. Настоящее изобретение можно осуществить с роликами, не имеющими специальных крайних частей, если изготовить ролики из соответствующего материала, например, из керамики, который пропускает магнитное поле без возникновения в роликах вихревых токов. Однако в предпочтительном варианте осуществления изобретения наличие в роликах крайних частей обеспечивает формирование магнитного поля путем создания строго определенной границы между областью больших магнитных потоков у края ролика и областью малых магнитных потоков, удаленной от края ролика. При таком формировании достигается лучшее управление магнитным полем, удерживающим боковую стенку ванны жидкого металла.

Настоящее изобретение предусматривает формирование магнитного поля при использовании материала с низким удельным сопротивлением, например, меди или медного сплава, для основной части ролика и материала с более высоким удельным сопротивлением для его крайней части. Медь или медный сплав в качестве материала основной части ролика эффективно препятствует проникновению магнитного поля (за исключением пренебрежимо малого слоя на поверхности) и в то же время хорошо отводит тепло от жидкого металла, способствуя его затвердеванию.

Крайняя часть ролика должна быть проницаема для магнитного поля, чтобы ограничивать боковую стенку ванны жидкого металла, находящегося между поверхностями двух роликов. Настоящее изобретение предусматривает несколько вариантов выполнения крайней части ролика, обеспечивающих проникновение магнитного поля. В одном из этих вариантов это достигается путем присоединения обода, сделанного из материала с более высоким удельным сопротивлением, например, из нержавеющей стали, к краям медных роликов. Крайние части в виде ободов 17, 18 из нержавеющей стали показаны на фиг. 3, 4 и 12. Эти ободы из нержавеющей стали могут быть прикреплены к медным роликам посредством твердой пайки, болтов или другим путем. Помимо того, что ободы из нержавеющей стали делают возможным прохождение магнитного поля, они обеспечивают гладкую поверхность отливки в случае, когда жидкий металл попадает на обод.

Другой вариант выполнения крайней части ролика изображен на фиг. 13 и 14. Ролик 64 выполнен из материала с низким удельным сопротивлением, такого, как медь. На краях роликов по их окружности имеется множество пазов 65. Пазы 65 проходят на небольшое расстояние  $S$  в осевом направлении относительно ролика и предназначены для пропускания магнитного потока в крайней части ролика, определяемой пазами. Пазы могут быть пустыми, однако предпочтительно, чтобы они были заполнены материалом с относительно большим удельным сопротивлением, таким, как керамика или нержавеющая сталь, изолированным от стенок пазов, или материалом с высокой магнитной проницаемостью. В качестве альтернативы, пазы могут быть заполнены пластинами металла с высокой магнитной проницаемостью, изолированными друг от друга и от стенок пазов.

Если пазы пустые, то магнитное поле должно быть сформировано так, чтобы жидкий металл не попадал на пазы. Если же пазы заполнены, то в случае попадания жидкого металла в процессе литья на участок крайней части ролика поверхность листа получается гладкой. Размеры пазов определяются в зависимости от конкретных условий. Преимущество медного ролика, снабженного пазами в крайней части, заключается в низком магнитном сопротивлении цепи для магнитного потока, т. е. пазов, заполненных материалом с высокой проницаемостью или воздухом, благодаря чему возможно применение высокочастотного переменного магнитного поля. Например, конструкция ролика с крайними частями в виде ободов из нержавеющей стали может работать на относительно низких частотах, например, до 500 Гц, а конструкция ролика с крайними частями, снабженными пазами, может работать в более широком частотном диапазоне, например, вплоть до частот как минимум 16 Гц.

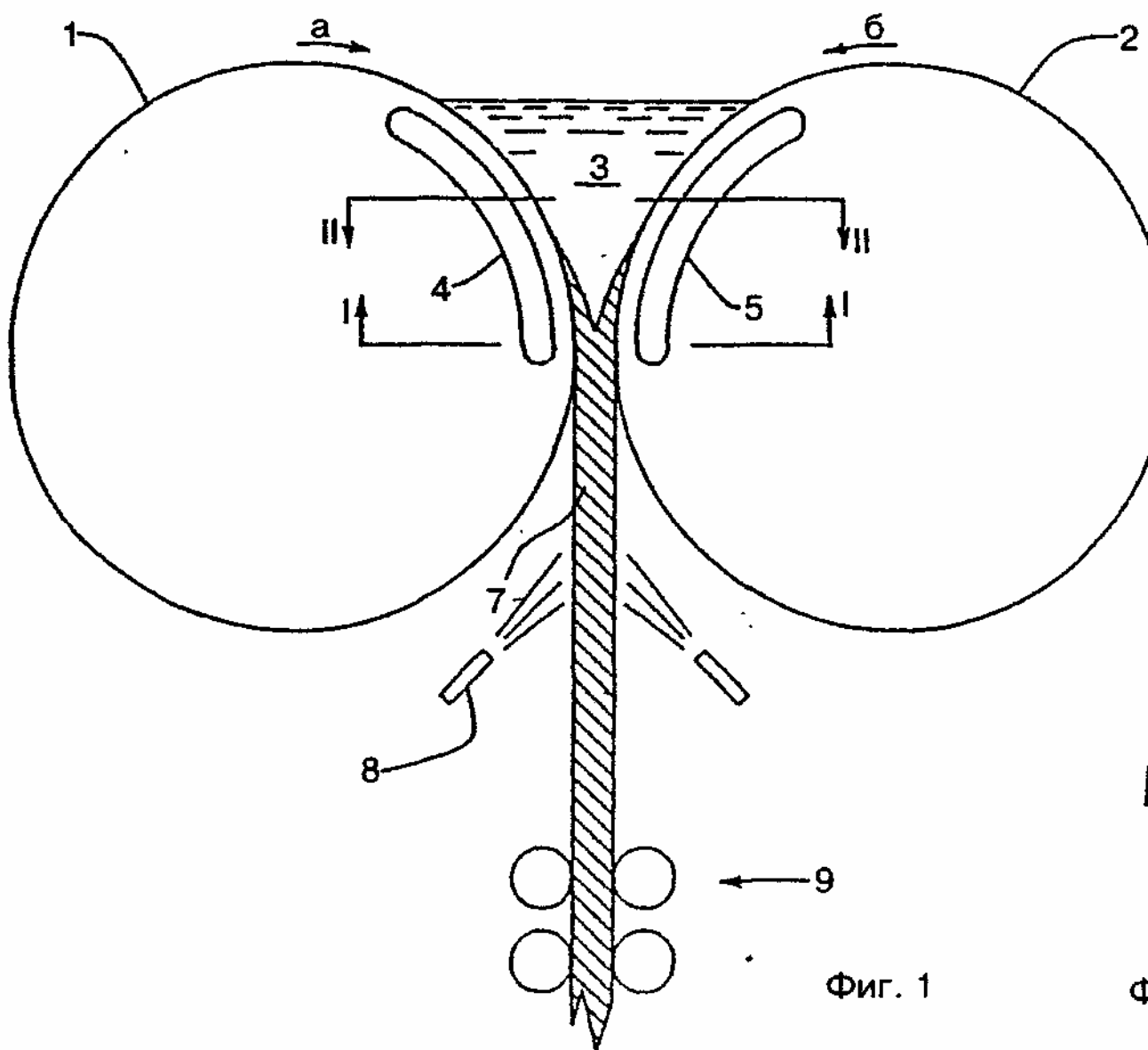
Другие варианты выполнения крайней части ролика показаны на фиг. 15 и 16. Фиг. 16 дает разрез в горизонтальной плоскости по линии IV—IV фиг. 11. Охлаждаемые водой ролики изготовлены из материала с высокой теплопроводностью, например, из меди. На краях и по окружности роликов имеется одна или несколько кольцевых надставок 66. Между этими кольцевыми надставками 66 расположены аналогичные кольцевые элементы 67, выполненные из меди. Эти кольца 66 и 67 изолированы друг от друга и прикреплены к роликам 1 и 2 болтами 68, изолированными от колец, чтобы исключить электрический контакт между отдельными кольцами и между кольцами и роликом. Кольцевые надставки 66 имеют то же назначение, что и пазы 65 в предыдущем варианте, а именно, они предназначены для пропускания магнитного поля в зону ограничения металла. Кольцевые надставки 66 могут быть выполнены из того же материала, что и пазы 65. Надставки 66 могут быть выполнены из изоляционного материала, такого, как керамика, имеющего высокое удельное сопротивление и сравнительно низкую проницаемость, и, соответственно в них не возникает вихревых токов. Надставки 66 могут быть изготовлены из немагнитного металла с высоким удельным сопротивлением, такого, как нержавеющая сталь, имеющая также сравнительно низкую проницаемость, но более высокую теплопроводность, чем керамика. В качестве альтернативного варианта кольцевые надставки 66 могут быть изготовлены из магнитного материала, например, из кремнистой стали, имеющего высокую магнитную проницаемость и умеренную теплопроводность. При выполнении кольцевых надставок из материалов с высокой проницаемостью они сами намагничиваются. Могут быть использованы тонкие изолированные пластины из ферромагнитного материала. Если кольцевые надставки выполнены из нержавеющей стали или из ферромагнитного материала, каждое кольцо должно быть изолировано от соседних медных колец. Переменный магнитный поток, исходящий от магнитного полюса, проникает в ролик через кольца 66 и через тонкий слой в медных кольцах 67. Часть этого потока наводит в жидком металле 3, находящемся между роликами, вихревые токи. В результате взаимодействия потока и вихревых токов в жидком металле обеспечивается удержание боковой стенки ванны жидкого металла, находящейся между роликами, как описано выше. Толщина кольцевых надставок 66, их количество и материал, а также параметры магнита рассчитываются так, чтобы удерживать боковые стенки ванны жидкого металла между роликами. При использовании кольцевых надставок из магнитного материала с высокой проницаемостью электромагнитная схема для указанного удержания является наиболее эффективной. В этом случае магнитное сопротивление магнитной цепи определяется главным образом магнитным сопротивлением жидкого металла 3 и небольшим воздушным зазором 69 между кольцами 66 и магнитным полюсом 47, все другие элементы конструкции имеют значительно большие воздушные зазоры и, соответственно, больший поток рассеяния.

Еще один вариант осуществления изобретения представлен на фиг. 17. Этот вариант может быть использован, когда условия таковы, что отливаемый металлический лист на выходе из роликов имеет не полностью затвердевшую кромку. Это может иметь место по ряду причин, связанных с особенностями литейного процесса, таких, как необходимость в сильных магнитных полях сравнительно высокой частоты, что влечет за собой сильный нагрев вихревыми токами кромок отливаемого металла, недостаточное охлаждение роликов по краям, большая толщина отливаемого листа, или сочетание этих или иных факторов. На фиг. 17 изображены ролики 1, 2 и жидкий металл 3, как и в рассмотренных выше вариантах, а также полюса 70 и 71, удлиненные настолько, что они проходят ниже соединяющей центры линии, роликов 1 и 2. Достигаемый этим эффект состоит в том, что магнитное поле также является протяженным и простирается ниже указанной линии, благодаря чему увеличивается зона электромагнитов удержания кромок.

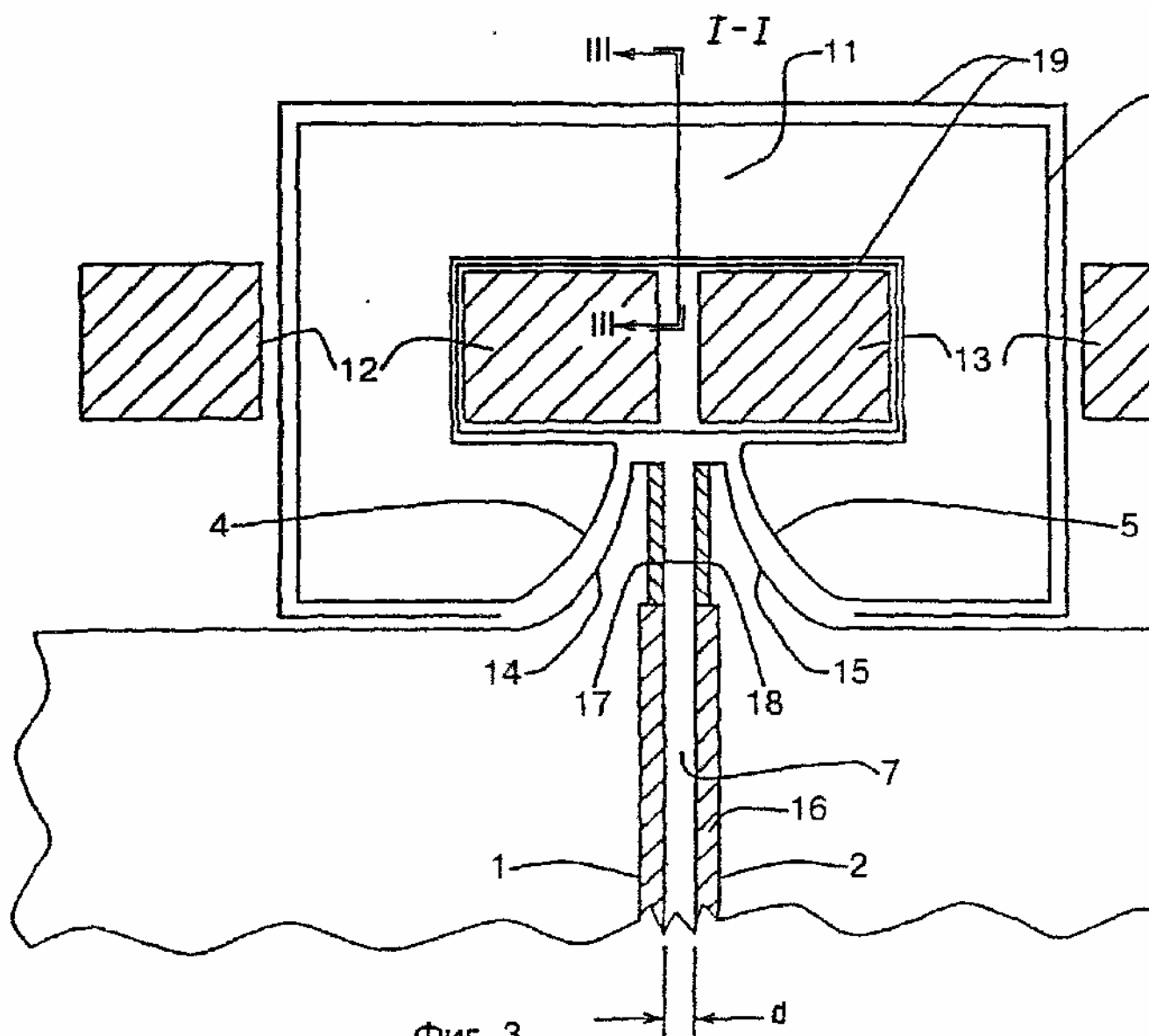
Силы, действующие на жидкую кромку металлического листа в результате вращения роликов, исчезают,

когда лист выходит из роликов. Только гравитационные силы действуют на все еще жидкие кромки листа, которые можно охлаждать потоком газа или струей воды. По мере удаления листа от роликов магнитные силы между полюсами 70 и 71 уменьшаются, при этом перемещение листа вниз сопровождается затвердеванием его кромок. Однако, если на конечном участке магнитного поля между полюсами 70 и 71 кромка листа не совсем твердая, то можно создать дальнейшее ограничение этой еще жидкой кромки с помощью дополнительного магнита с полюсами 72 и 73, который увеличивает протяженность магнитного поля ниже роликов 1 и 2 настолько, что лист успевает стать достаточно твердым и может поддерживаться механическими направляющими 9.

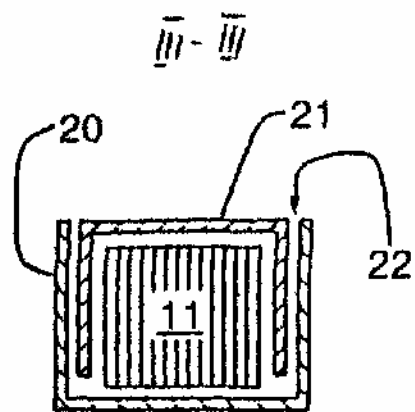
Другой вариант осуществления изобретения, изображенный на фиг. 18 и 19, представляет собой сочетание магнитных и механических средств для удержания жидкого металла на краях роликотой литейной системы. Как было сказано выше, проблема, возникающая при использовании механических уплотнений для удержания жидкого металла на краях вращающихся в противоположных направлениях роликов, заключается в том, что смесь жидкого и затвердевающего металла при вращении роликов закупоривает зону вокруг механических уплотнений. Выше также было описано, как согласно изобретению может быть использовано магнитное поле для удержания жидкого металла с боковых сторон. Данный вариант осуществления изобретения использует и механическое уплотнение, и магнитное поле, что дает определенные преимущества. Здесь, как и в ранее рассмотренных вариантах, ролики 1, 2 и полюса 4, 5 удерживают жидкий металл 3, однако между полюсами 4 и 5 расположена механическая перегородка 74, имеющая такую форму, что она удерживает жидкий металл в зоне, где вероятность закупоривания или деформирования отливаемого листа мала, т. е. там, где не происходит затвердевания металла из-за близости роликов. Как показано на фиг. 18 и 19, перегородка 74 установлена с зазорами относительно роликов 1 и 2. Затвердевание металла происходит в близких к роликам зонах и забивание этих зон наиболее вероятно. Магнитное поле между полюсами 4 и 5 используется для ограничения жидкого и затвердевающего металла в зазорах между механической перегородкой 74 и роликами 1 и 2. Перегородка 74 может быть выполнена из ферромагнитного материала 75, обеспечивая для магнитного потока между полюсами 4 и 5 цепь с малым магнитным сопротивлением. Обращенная к жидкому металлу сторона перегородки может быть покрыта слоем высокотемпературной керамики 76, закрывающей охлаждаемый водой тепловой экран 77, расположенный перед материалом с высокой магнитной проницаемостью, который может представлять собой стальные пластины или высокотемпературный феррит. Преимущество данного варианта осуществления изобретения состоит в том, что для него требуется меньше энергии, чем для предыдущих вариантов, поскольку магнитное поле вдоль жидкого металла проходит только через зазоры между роликами 1, 2 и перегородкой 74. Кроме того, поскольку объем жидкого металла, удерживаемый магнитным полем, меньше, уменьшается его нагрев вихревыми токами. Механическая перегородка может иметь различную форму для формирования плотности магнитного потока, соответствующей различным требованиям литейного процесса.



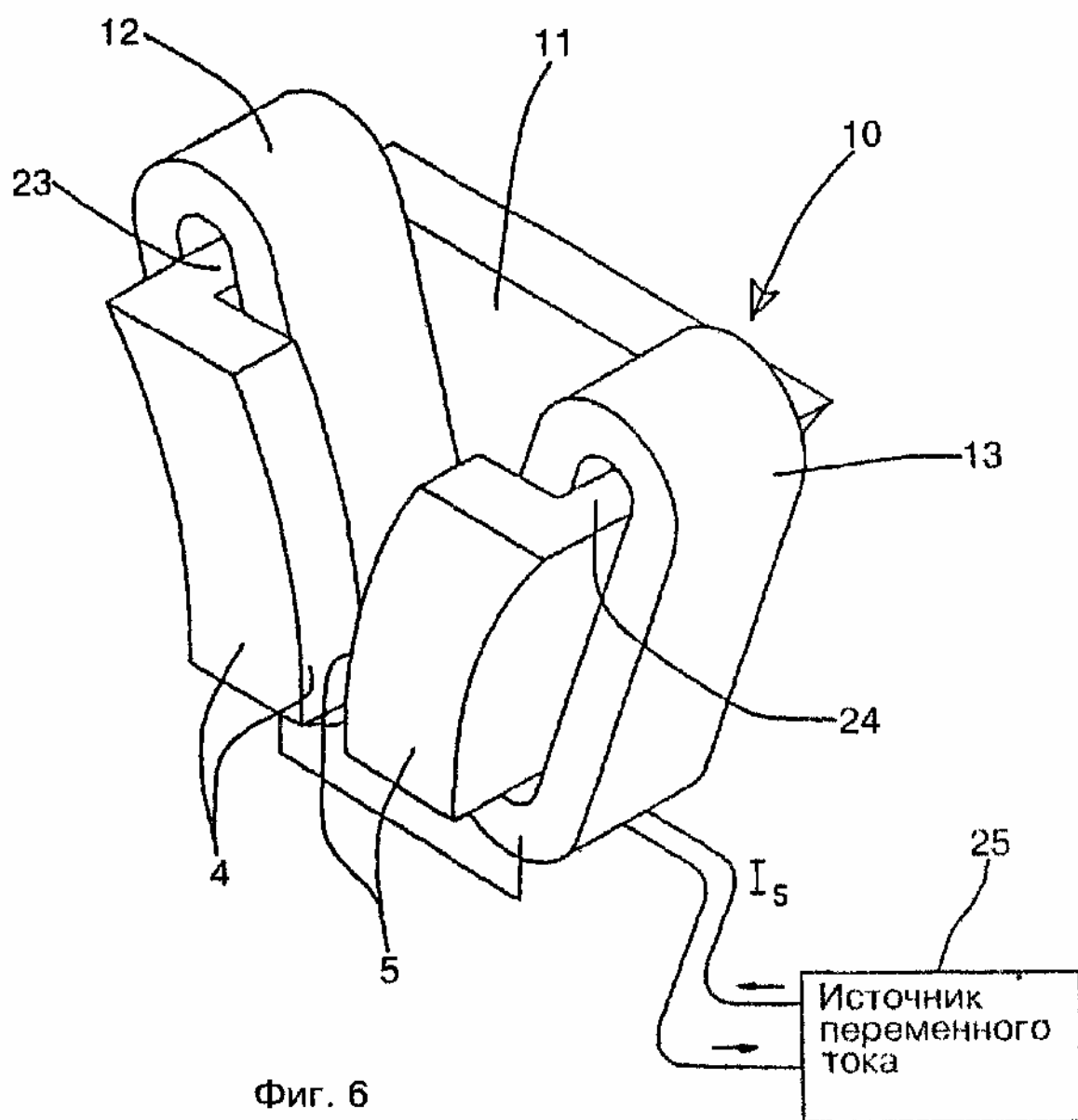
Фиг. 1



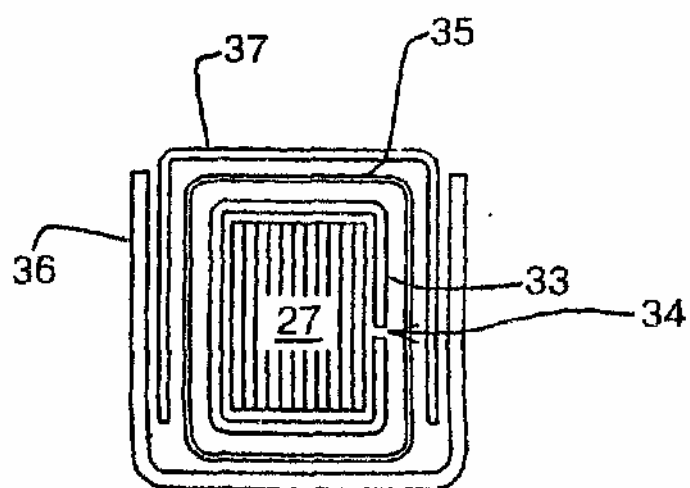
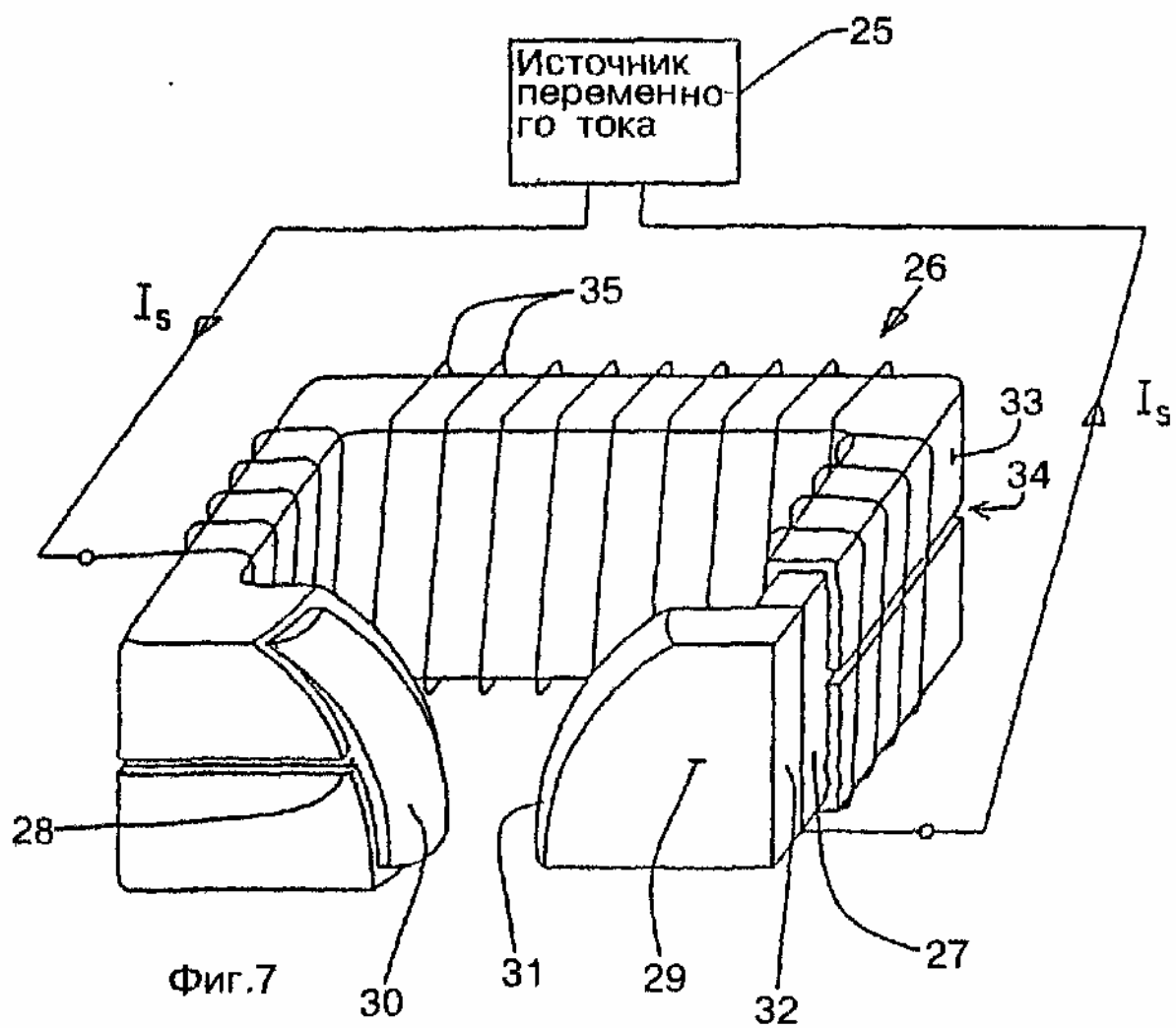




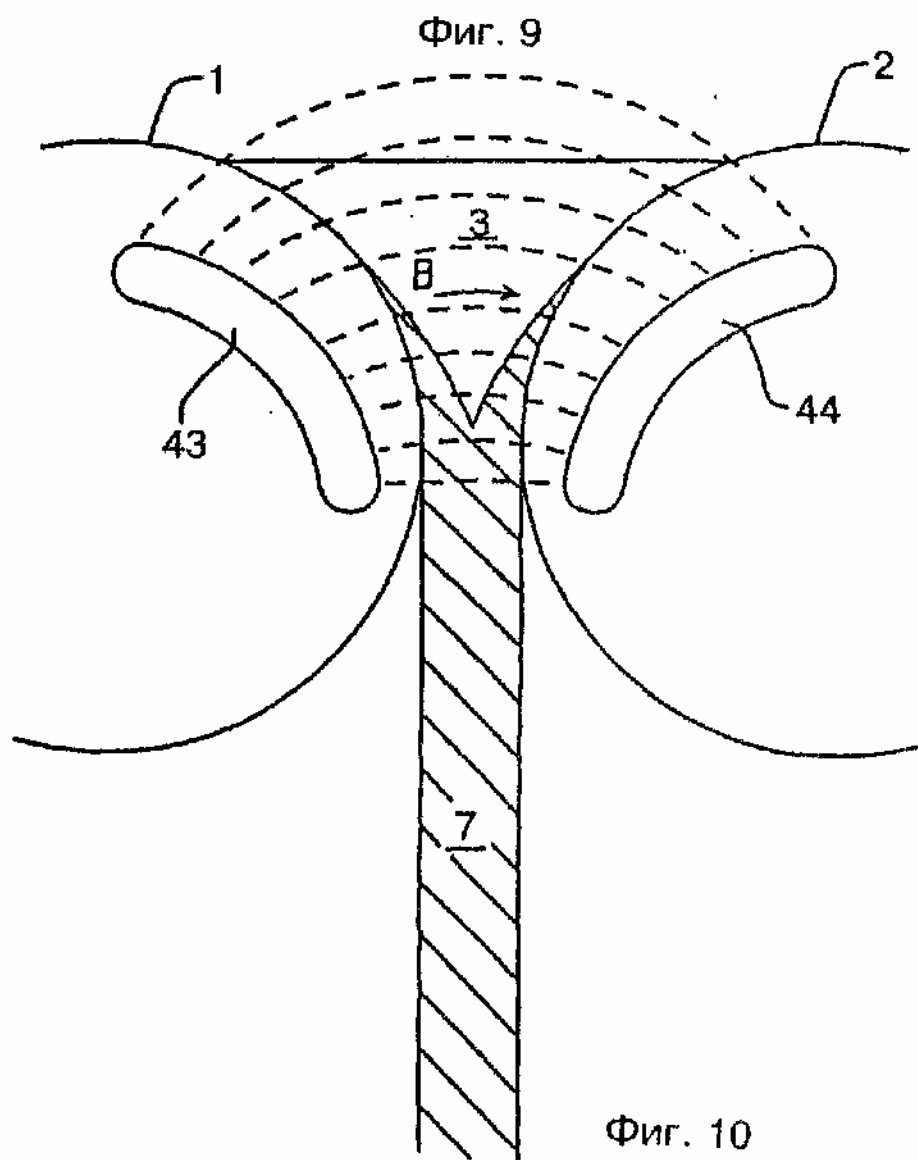
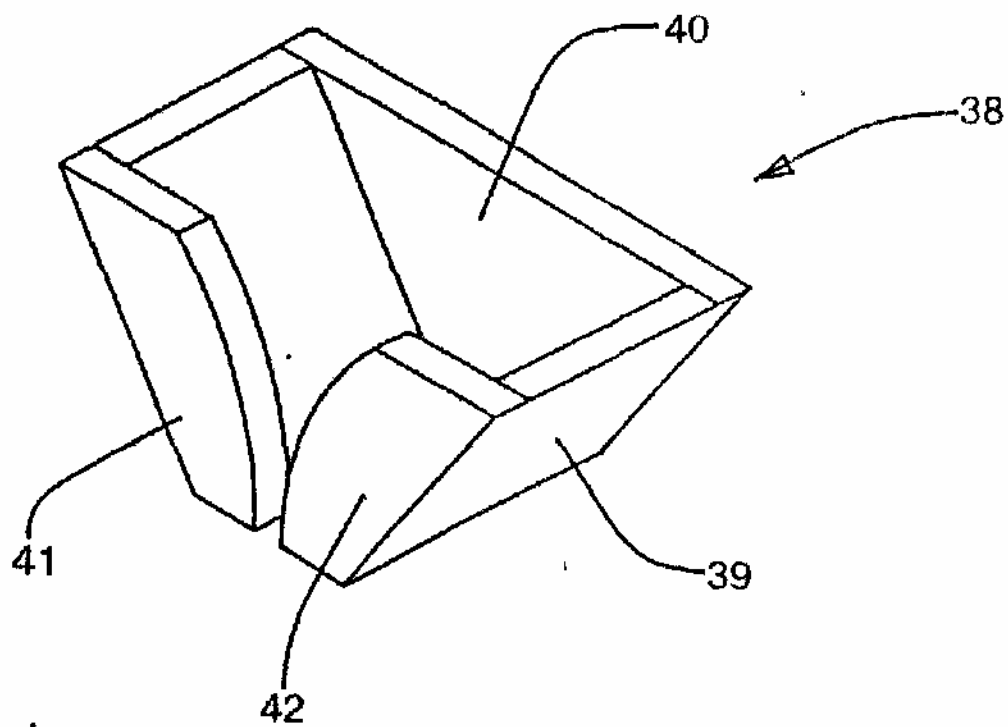
Фиг. 5



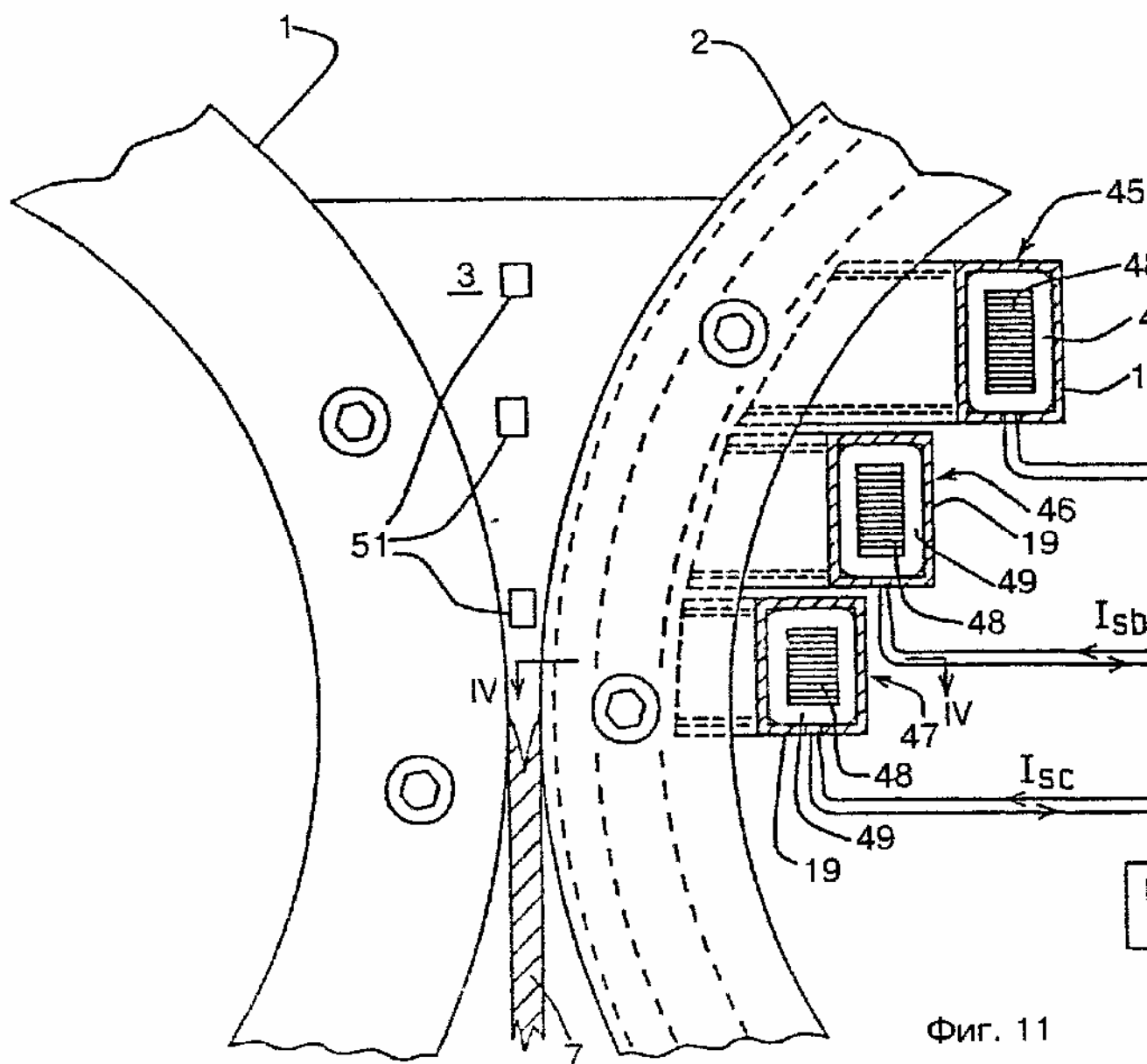
Фиг. 6



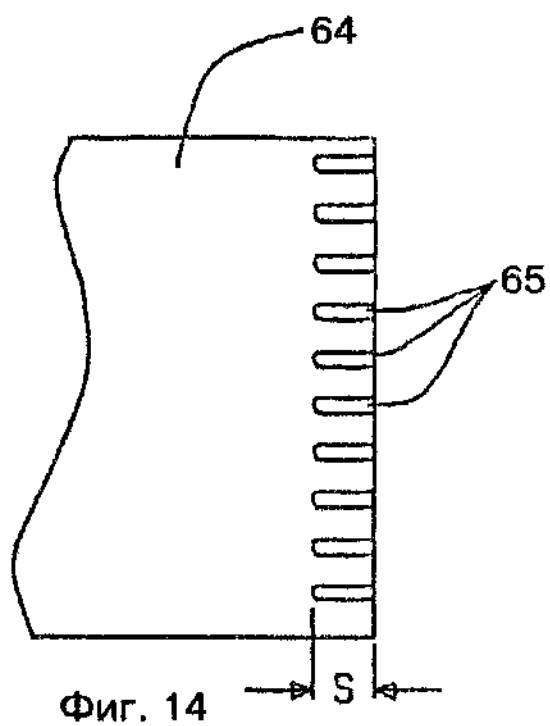
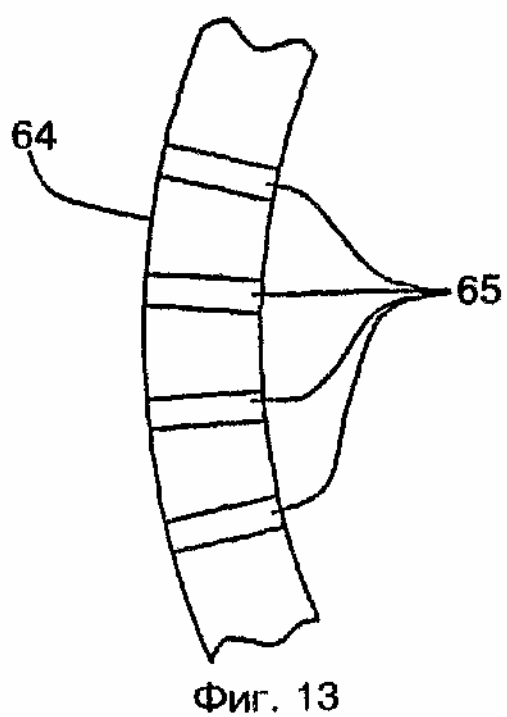
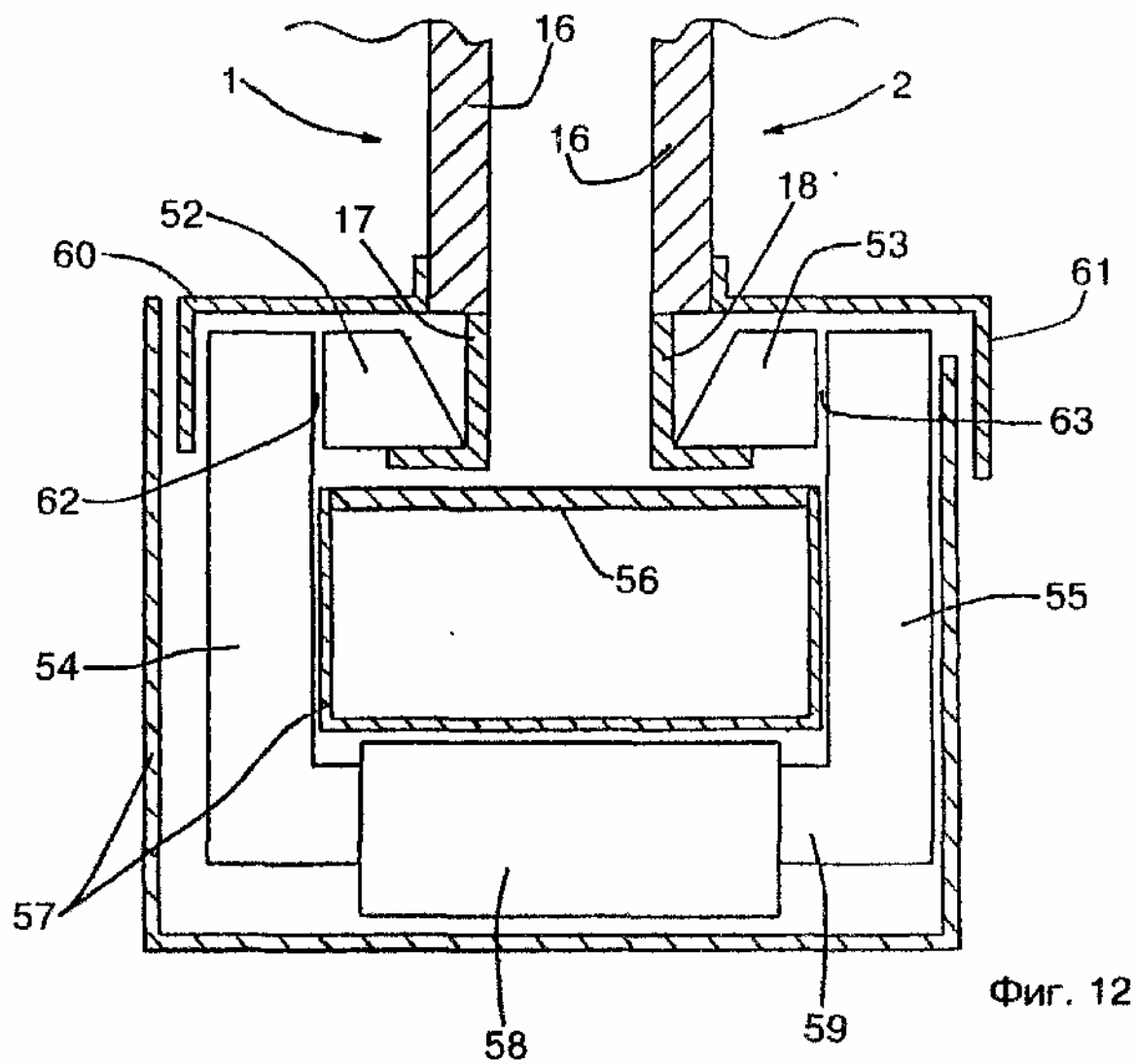
Фиг. 8

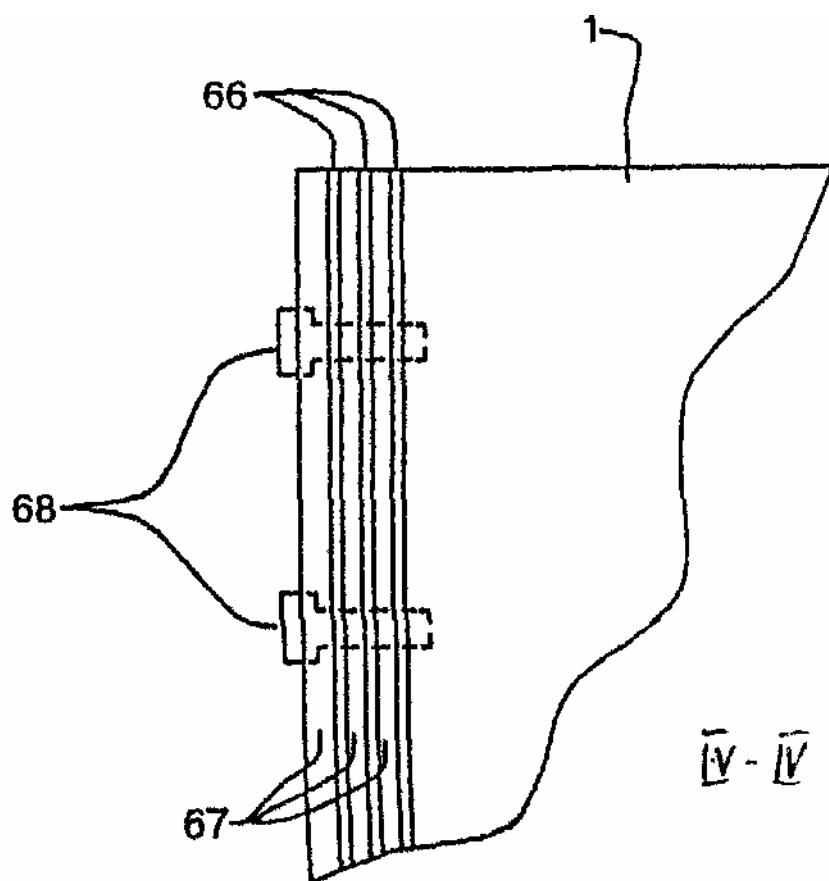


Фиг. 10

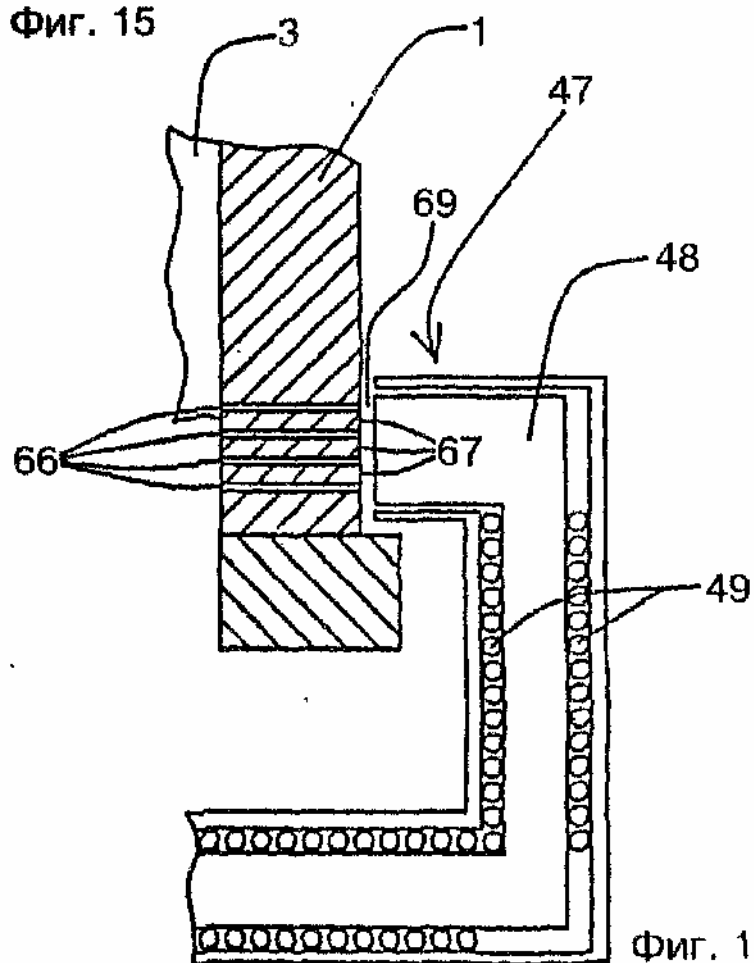


Фиг. 11

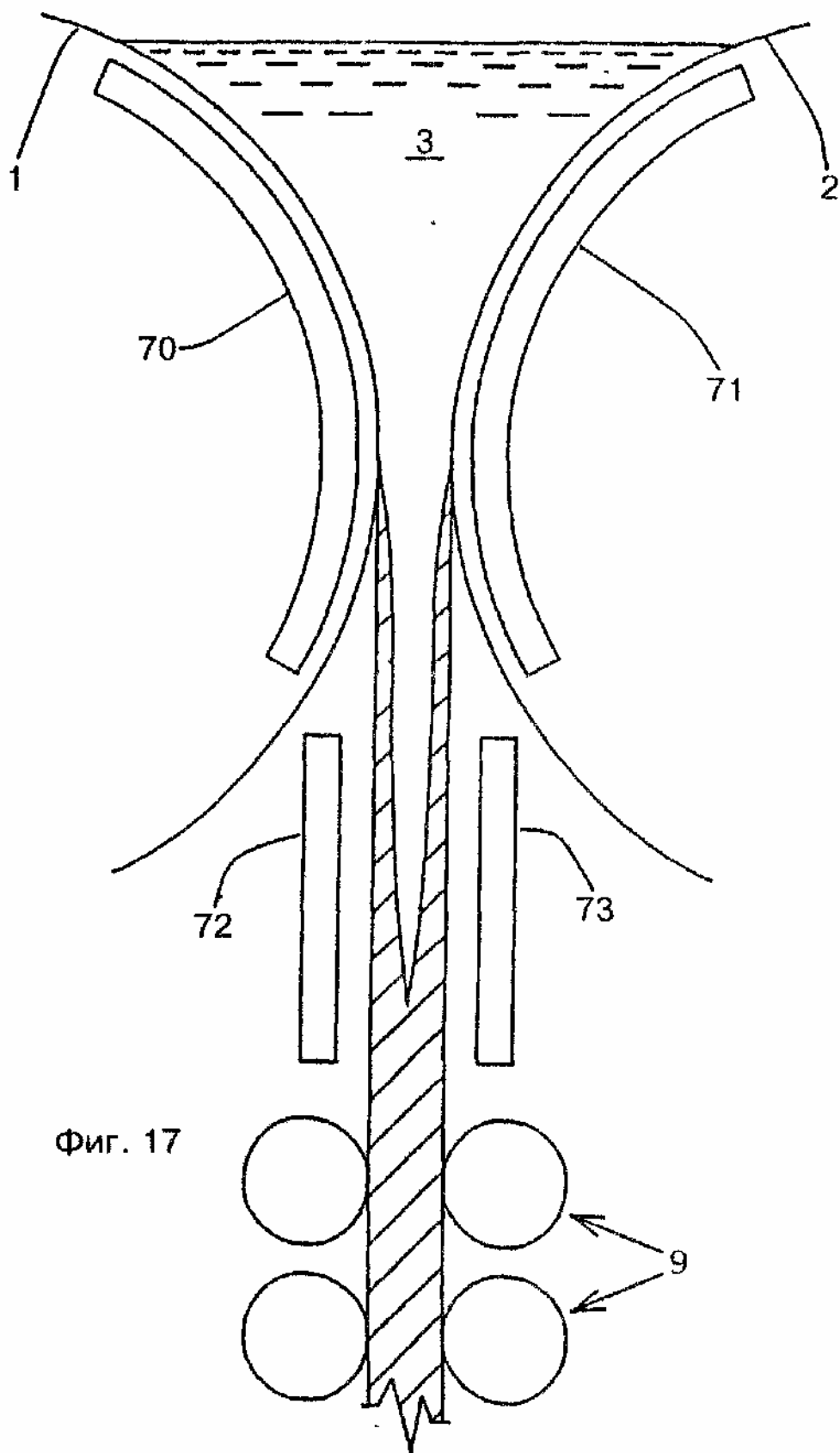




Фиг. 15



Фиг. 16



Фиг. 17

