



УКРАЇНА

(19) UA (11) 37223 (13) C2

(51) 7 B22D11/06

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ НЕПЕРЕРВНОГО ЛИТТЯ ВУЗЬКОЇ СМУГИ МЕТАЛУ (ЙОГО ВАРІАНТИ), ЕЛЕКТРО-  
МАГНІТНИЙ ОБМЕЖУВАЛЬНИЙ ЗАСІБ І СПОСІБ НЕПЕРЕРВНОГО ЛИТТЯ ВУЗЬКОЇ СМУГИ МЕТАЛУ

(21) 95062665

(22) 05.06.1995

(24) 15.05.2001

(31) 08/263.874

(32) 22.06.1994

(33) US

(46) 15.05. 2001, Бюл. № 4, 2001 р.

(72) Ховард Л. Гербер (US), Ісмаел Г. Сауседо (US)

(73) ІНЛЕНД СТІЛ КОМПАНІ (US)

(56) 1. EP, 0586732 A1, 1992.

2. WO, 91/186967 A1, 1991.

(57) 1. Устройство для непрерывного литья узкой полосы металла, содержащее два противоположно вращающихся горизонтальных вала, установленных с вертикально ориентированным зазором, участок которого открыт со стороны торцов валов, и электромагнитное ограничивающее средство, включающее ограничивающую катушку, состоящую из двух частей, первая из которых своей фронтальной поверхностью обращена к зазору, а между первой и второй частями ограничивающей катушки расположен магнитный элемент, охватывающий нижнюю зону первой части катушки, за исключением ее фронтальной поверхности, средство для подачи и ограничения переменного электрического тока, средство для обеспечения зоны распространения магнитного поля с низким магнитным сопротивлением, при этом вторая часть катушки имеет экран, выполненный из немагнитного электропроводного материала, охватывающий магнитный элемент, и включающий средство для ограничения части магнитного поля, находящейся вне зоны низкого магнитного сопротивления, а магнитный элемент электрически изолирован от ограничивающей катушки, **отличающееся** тем, что оно снабжено средством для определения пути распространения магнитного поля вблизи открытого участка зазора и защиты электромагнитного ограничивающего средства от потока расплавленного металла, а каждый вал имеет краевой экран и выполнен с периферийным выступом из материала с электропроводностью меньше, чем у меди, торцевая поверхность которого обращена к фронтальной поверхности ограничивающей катушки, при этом часть боковой поверхности периферийного выступа вала обращена к магнитному элементу, определяющему часть пути распространения магнитного поля, другая часть боковой поверхности периферийного выступа вала обращена к краевому

му экрану, выполненному из материала с электропроводностью меньше, чем у меди, и определяет другую часть пути распространения магнитного поля, а средство для определения пути распространения магнитного поля вблизи открытого участка зазора и защиты электромагнитного ограничивающего средства от потока расплавленного металла, выполнено в виде или изолированной и отдельной от электромагнитного средства секции с фронтальной поверхностью, обращенной лицевой стороной к электромагнитному средству и граничащей с периферийным выступом вала и с фронтальной поверхностью ограничивающей катушки, или краевого экрана, имеющего выступающую часть, которая выступает наружу в осевом направлении за периферийный выступ вала, и выполненного из немагнитного электропроводного материала с электропроводностью, превышающей электропроводность периферийного выступа вала, при этом периферийный выступ вала и выступающая часть краевого экрана образуют между собой кольцевое пространство, а магнитный элемент и экран ограничивающей катушки имеют выступающие части, расположенные выше фронтальной поверхности ограничивающей катушки внутри кольцевого пространства, или краевого экрана, который закрывает край вала, а его выступающая часть простерта наружу в осевом направлении, при этом краевой экран и его выступающая часть выполнены из немагнитного электропроводного материала с электропроводностью выше электропроводности периферийного выступа вала, а краевая поверхность периферийного выступа вала выступает наружу в осевом направлении выше края вала, в кольцевом пространстве установлен кольцеобразный элемент, выполненный из магнитного материала с электропроводностью меньше, чем у меди, или периферийного выступа вала, который простерт наружу в осевом направлении к фронтальной поверхности ограничивающей катушки, а магнитный элемент выполнен в виде пары раздвинутых зубцов, каждый из которых простерт наружу поверх фронтальной поверхности к краю соответствующего вала, при этом периферийные выступы валов расположены вдоль боковых сторон раздвинутых зубцов, не перекрывая их.

2. Устройство по п.1, **отличающееся** тем, что при использовании средства для определения пути

распространения магнитного поля вблизи открытого участка зазора и защиты электромагнитного ограничивающего средства от потока расплавленного металла, выполненного в виде изолированной и отдельной от электромагнитного средства секции, с фронтальной поверхностью, обращенной лицевой стороной к электромагнитному средству, и граничащей с периферийным выступом вала и с фронтальной поверхностью ограничивающей катушки, граничная поверхность периферийного выступа вала выступает наружу за край вала в осевом направлении.

3. Устройство по п.1 или 2, **отличающееся** тем, что при использовании средства для определения пути распространения магнитного поля вблизи открытого участка зазора и защиты электромагнитного средства от потока расплавленного металла, выполненного в виде изолированной и отдельной от электромагнитного средства секции, с фронтальной поверхностью, обращенной лицевой стороной к электромагнитному средству и граничащей с периферийным выступом вала и с фронтальной поверхностью ограничивающей катушки, изолированная и отдельная секция отделена и изолирована от каждого вала и включает первую боковую поверхность, обращенную к периферийному выступу вала, вторую боковую поверхность, отодвинутую радиально внутрь от первой боковой поверхности, и заднюю поверхность вблизи края соответствующего вала.

4. Устройство по п. 3, **отличающееся** тем, что вторая боковая поверхность секции наклонена радиально внутрь от фронтальной части к задней поверхности секции, а расстояние между боковыми поверхностями поперек секции увеличено от фронтальной части к задней поверхности секции.

5. Устройство по п. 3, **отличающееся** тем, что в промежутке между первой боковой поверхностью секции и периферийным выступом вала расположено средство для подвода жидкости, охлаждающей периферийный выступ вала.

6. Устройство по п.1 или 2, **отличающееся** тем, что при использовании средства для определения пути распространения магнитного поля вблизи открытого участка зазора и защиты электромагнитного средства от потока расплавленного металла, выполненного в виде изолированной и отдельной от электромагнитного средства секции, с фронтальной поверхностью, обращенной лицевой стороной к электромагнитному средству и граничащей с периферийным выступом вала и с фронтальной поверхностью ограничивающей катушки, изолированная и отдельная секция и периферийный выступ вала выполнены из немагнитного материала.

7. Устройство по п. 1 или 2, **отличающееся** тем, что при использовании средства для определения пути распространения магнитного поля вблизи открытого участка зазора и защиты электромагнитного средства от потока расплавленного металла, выполненного в виде изолированной и отдельной от электромагнитного средства секции, с фронтальной поверхностью, обращенной лицевой стороной к электромагнитному средству и граничащей с периферийным выступом вала и с фронтальной поверхностью ограничивающей катушки, краевой экран каждого вала расположен радиаль-

но внутрь от периферийного выступа вала, при этом краевой экран вала имеет более высокую электропроводность, чем периферийный выступ вала и секция, и включает средство для значительного ограничения потока магнитного поля поперек зазора в области его открытого участка.

8. Устройство по п. 7, **отличающееся** тем, что краевой экран вала расположен радиально внутрь от изолированной и отдельной секции.

9. Устройство по п.2, **отличающееся** тем, что периферийный выступ вала выполнен из немагнитного материала, а изолированная и отдельная секция сделана из магнитного материала.

10. Устройство по п.1, **отличающееся** тем, что при использовании средства для определения пути распространения магнитного поля вблизи открытого участка зазора и защиты электромагнитного средства от потока расплавленного металла, выполненного в виде изолированной и отдельной от электромагнитного средства секции, с фронтальной поверхностью, обращенной лицевой стороной к электромагнитному средству и граничащей с периферийным выступом вала и с фронтальной поверхностью ограничивающей катушки, экран катушки имеет граничную поверхность, которая обращена к краю соответствующего вала и, в основном, прилегает к вышеупомянутой граничной поверхности электромагнитного охватывающего средства.

11. Устройство по п.1, **отличающееся** тем, что при использовании средства для определения пути распространения магнитного поля вблизи открытого участка зазора и защиты электромагнитного средства от потока расплавленного металла, выполненного в виде изолированной и отдельной от электромагнитного средства секции, с фронтальной поверхностью, обращенной лицевой стороной к электромагнитному средству и граничащей с периферийным выступом вала и с фронтальной поверхностью ограничивающей катушки, устройство снабжено средством для охлаждения периферийного выступа вала в виде дугообразного сегмента, выполненного с возможностью прохождения через него выступа при вращении сразу после прохождения им магнитного поля, генерированного ограничивающей катушкой, при этом интенсивность охлаждения выступа в дугообразном сегменте значительно выше, чем в области действия магнитного поля.

12. Устройство по п. 11, **отличающееся** тем, что выступ вала имеет кривизну, соответствующую кривизне вала, и внутреннюю поверхность, расположенную радиально внутрь от внешней периферии вала, а средство для охлаждения включает в себя средство для направления охлаждающей жидкости к внутренней поверхности периферийного выступа вала вдоль поверхности дугообразного сегмента.

13. Устройство по п.1, **отличающееся** тем, что при использовании средства для определения пути распространения магнитного поля вблизи открытого участка зазора и защиты электромагнитного средства от потока расплавленного металла, выполненного в виде краевого экрана, имеющего выступающую часть, которая выступает наружу в осевом направлении за периферийный выступ вала, и выполненного из немагнитного

электропроводного материала с электропроводностью, превышающей электропроводность периферийного выступа вала, при этом периферийный выступ вала и выступающая часть краевого экрана образуют между собой кольцевое пространство, а магнитный элемент и экран ограничивающей катушки имеют выступающие части, расположенные выше фронтальной поверхности ограничивающей катушки внутри кольцевого пространства, выступающая часть электромагнитного охватывающего средства и выступающая часть экрана ограничивающей катушки простерты выше фронтальной поверхности ограничивающей катушки на расстояние  $(1-3)\delta$ , при этом

$$\delta = \sqrt{2 / \omega \mu \sigma},$$

где  $\delta$  представляет собой глубину поверхностного слоя расплавленного металла;

$\omega$  равно  $2\pi f$ ;

$f$  - частота используемого переменного во времени электрического тока;

$\mu$  - магнитная проницаемость воздуха;

$\sigma$  - электропроводность расплавленного металла.

14. Устройство по п.1, **отличающееся** тем, что при использовании средства для определения пути распространения магнитного поля вблизи открытого участка зазора и защиты электромагнитного средства от потока расплавленного металла, выполненного в виде краевого экрана, имеющего выступающую часть, которая выступает наружу в осевом направлении за периферийный выступ вала, и выполненного из немагнитного электропроводного материала с электропроводностью, превышающей электропроводность периферийного выступа вала, при этом периферийный выступ вала и выступающая часть краевого экрана образуют между собой кольцевое пространство, а магнитный элемент и экран ограничивающей катушки имеют выступающие части, расположенные выше фронтальной поверхности ограничивающей катушки внутри кольцевого пространства, краевой экран вала выступает наружу в осевом направлении за периферийный выступ вала.

15. Устройство по п.1, **отличающееся** тем, что при использовании средства для определения пути распространения магнитного поля вблизи открытого участка зазора и защиты электромагнитного средства от потока расплавленного металла, выполненного в виде краевого экрана, имеющего выступающую часть, которая выступает наружу в осевом направлении за периферийный выступ вала, и выполненного из немагнитного электропроводного материала с электропроводностью, превышающей электропроводность периферийного выступа вала, при этом периферийный выступ вала и выступающая часть краевого экрана образуют между собой кольцевое пространство, а магнитный элемент и экран ограничивающей катушки имеют выступающие части, расположенные выше фронтальной поверхности ограничивающей катушки внутри кольцевого пространства, все экраны сделаны из меди, а периферийный выступ вала выполнен из немагнитной нержавеющей стали.

16. Устройство по п.1, **отличающееся** тем, что при использовании средства для определения пути распространения магнитного поля вблизи открытого участка зазора и защиты электромагнитного средства от потока расплавленного металла, выполненного в виде краевого экрана, имеющего выступающую часть, которая выступает наружу в осевом направлении за периферийный выступ вала, и выполненного из немагнитного электропроводного материала с электропроводностью, превышающей электропроводность периферийного выступа вала, при этом периферийный выступ вала и выступающая часть краевого экрана образуют между собой кольцевое пространство, а магнитный элемент и экран ограничивающей катушки имеют выступающие части, расположенные выше фронтальной поверхности ограничивающей катушки внутри кольцевого пространства, периферийный выступ вала имеет толщину в радиальном направлении менее  $2\delta'$ , при этом

$$\delta' = \sqrt{2 / \omega \mu \sigma},$$

где  $\delta'$  представляет собой глубину поверхностного слоя материала, из которого выполнен периферийный выступ вала;

$\omega$  равно  $2\pi f$ ;

$f$  - частота используемого переменного во времени электрического тока;

$\mu$  - магнитная проницаемость вышеупомянутого материала;

$\sigma$  - электропроводность вышеупомянутого материала.

17. Устройство п.1, **отличающееся** тем, что при использовании средства для определения пути распространения магнитного поля вблизи открытого участка зазора и защиты электромагнитного средства от потока расплавленного металла, выполненного в виде краевого экрана, который закрывает край вала, а его выступающая часть простерта наружу в осевом направлении, при этом краевой экран и его выступающая часть выполнены из немагнитного электропроводного материала с электропроводностью выше электропроводности периферийного выступа вала, а краевая поверхность периферийного выступа вала выступает наружу в осевом направлении выше края вала, в кольцевом пространстве установлен кольцеобразный элемент, выполненный из магнитного материала, с электропроводностью меньшей, чем у меди, кольцевое пространство, в основном, заполнено кольцеобразным элементом.

18. Устройство по п.1, **отличающееся** тем, что при использовании средства для определения пути распространения магнитного поля вблизи открытого участка зазора и защиты электромагнитного средства от потока расплавленного металла, выполненного в виде краевого экрана, который закрывает край вала, а его выступающая часть простерта наружу в осевом направлении, при этом краевой экран и его выступающая часть выполнены из немагнитного электропроводного материала с электропроводностью выше электропроводности периферийного выступа вала, а краевая поверхность периферийного выступа ва-

ла выступает наружу в осевом направлении выше края вала, в кольцевом пространстве установлен кольцеобразный элемент, выполненный из магнитного материала, с электропроводностью меньшей, чем у меди, кольцеобразный элемент установлен в кольцевом пространстве относительно периферийного выступа вала с зазором, в котором размещено средство для приема струи газа, охлаждающего периферийный выступ вала.

19. Устройство по п.1, **отличающееся** тем, что при использовании средства для определения пути распространения магнитного поля вблизи открытого участка зазора и защиты электромагнитного средства от потока расплавленного металла, выполненного в виде краевого экрана, который закрывает край вала, а его выступающая часть простерта наружу в осевом направлении, при этом краевой экран и его выступающая часть выполнены из немагнитного электропроводного материала с электропроводностью выше электропроводности периферийного выступа вала, а краевая поверхность периферийного выступа вала выступает наружу в осевом направлении выше края вала, и в кольцевом пространстве установлен кольцеобразный элемент, выполненный из магнитного материала, с электропроводностью меньшей, чем у меди, кольцеобразный элемент выполнен или из магнитного материала, или из немагнитного материала, который имеет электропроводность меньше, чем у меди.

20. Устройство по п.1, **отличающееся** тем, что при использовании средства для определения пути распространения магнитного поля вблизи открытого участка зазора и защиты электромагнитного средства от потока расплавленного металла, выполненного в виде периферийного выступа вала, который простерт наружу в осевом направлении к фронтальной поверхности ограничивающей катушки, а магнитный элемент выполнен в виде пары раздвинутых зубцов, каждый из которых простерт наружу поверх фронтальной поверхности к краю соответствующего вала, при этом периферийные выступы валов расположены вдоль боковых сторон раздвинутых зубцов, не перекрывая их, экран катушки включает пару раздвинутых между собой зубцов, каждый из которых расположен вдоль боковой стороны соответствующего зубца магнитного элемента и выполнен с примерно одинаковой протяженностью.

21. Устройство по п.1 или 20, **отличающееся** тем, что при использовании средства для определения пути распространения магнитного поля вблизи открытого участка зазора и защиты электромагнитного средства от потока расплавленного металла, выполненного в виде периферийного выступа вала, который простерт наружу в осевом направлении к фронтальной поверхности ограничивающей катушки, а магнитный элемент выполнен в виде пары раздвинутых зубцов, каждый из которых простерт наружу поверх фронтальной поверхности к краю соответствующего вала, при этом периферийные выступы валов расположены вдоль боковых сторон раздвинутых зубцов, не перекрывая их, краевой экран расположен радиально внутрь от периферийного выступа вала и закрывает край вала, при этом краевой экран имеет более высокую электропроводность, чем

периферийный выступ вала, и включает средство для предотвращения выхода магнитного потока из окрестности края зубца и ограничения магнитного поля, в основном, контуром, который простерт между парой зубцов, поперек пары периферийных выступов и поперек зазора вблизи его открытого участка.

22. Устройство по п. 21, **отличающееся** тем, что периферийный выступ вала и периферийная поверхность вала выполнены из одного немагнитного электропроводного материала.

23. Устройство по п. 21, **отличающееся** тем, что периферийный выступ вала выступает за край краевого экрана на расстояние большее 80 %  $\delta$ .

24. Устройство по п. 22 или 23, **отличающееся** тем, что периферийный выступ вала имеет толщину в радиальном направлении менее двух  $\delta'$ .

25. Устройство по п.24, **отличающееся** тем, что толщина периферийного выступа вала менее одной  $\delta'$ .

26. Электромагнитное ограничивающее средство для удержания массы расплава у открытого участка вертикально ориентированного зазора между двумя горизонтально расположенными валами, содержащее ограничивающую катушку, состоящую из двух частей, первая из которых расположена вблизи валов и содержит пару клинообразных, вертикально ориентированных проводящих долей, при этом каждая из клинообразных долей имеет фронтальную поверхность, суженную по ширине от широкой верхней части к узкой нижней части, а фронтальная поверхность каждой проводящей доли обращена к открытому участку упомянутого зазора, **отличающееся** тем, что первая часть ограничивающей катушки содержит дополнительную первую вертикально ориентированную центральную проводящую долю, установленную между клинообразными проводящими долями ограничивающей катушки и контактирующую с ними, а клинообразные проводящие доли электрически изолированы от первой центральной проводящей доли, при этом первая центральная проводящая доля имеет относительно узкую фронтальную поверхность, обращенную к открытому участку вышеуказанного зазора и имеющую нижнюю часть, средства, включающие клинообразные проводящие доли и первую центральную долю, предназначены для генерации горизонтального магнитного поля при протекании переменного электрического тока через ограничивающую катушку для оказания магнитного ограничивающего давления на массу расплава у открытого участка зазора, а первая часть ограничивающей катушки имеет фронтальную поверхность, образованную фронтальными поверхностями клинообразных проводящих долей и первой центральной проводящей доли.

27. Средство по п. 26, **отличающееся** тем, что оно включает средство для протекания первого переменного тока через первую центральную проводящую долю, средство для протекания второго переменного тока, изолированного и отдельного от первого переменного тока через одну из клинообразных проводящих долей, и средство для протекания третьего переменного, изолированного и отдельного от первого и второго переменных через другую клинообразную проводящую долю.

28. Средство по п. 27, **отличающееся** тем, что оно включает средство для подачи второго и третьего переменного токов, величина которых меньше силы первого переменного тока.

29. Средство по п. 27, **отличающееся** тем, что каждая из проводящих долей первой части ограничивающей катушки имеет заднюю поверхность, каждая из клинообразных проводящих долей имеет внутреннюю боковую поверхность, контактирующую с соответствующей противоположной стороной центральной проводящей доли, и внешнюю боковую поверхность, а электромагнитное средство включает магнитный элемент, который имеет части, контактирующие с каждой из задних поверхностей и с внешними поверхностями клинообразных проводящих долей для ограничения переменных токов во фронтальных поверхностях проводящих долей на проектных вертикальных уровнях проводящих долей, при этом магнитный элемент электрически изолирован от проводящих долей.

30. Средство по п.29, **отличающееся** тем, что магнитный элемент имеет по крайней мере один воздушный зазор, расположенный на вертикальном уровне, соответствующем нижней части первой центральной проводящей доли, при этом для уменьшения плотности магнитного потока и турбулентности вблизи лицевой части массы расплава в воздушном зазоре установлено средство для уменьшения тока, протекающего вдоль нижней части фронтальной поверхности первой центральной проводящей доли.

31. Средство по п. 30, **отличающееся** тем, что выше упомянутого воздушного зазора по вертикали магнитный элемент выполнен со множеством воздушных зазоров, расположенных на некотором расстоянии друг от друга, при этом в каждом зазоре расположено средство для уменьшения тока, протекающего вдоль фронтальной поверхности проводящей доли, на том же уровне по вертикали, что и упомянутый воздушный зазор, для уменьшения генерации тепла у фронтальной поверхности.

32. Средство по п.27, **отличающееся** тем, что оно включает магнитный элемент для ограничения переменных во времени токов окрестностью фронтальных поверхностей проводящих долей на соответствующих уровнях по вертикали у проводящих долей и для обеспечения зоны распространения магнитного поля с низким магнитным сопротивлением, генерированного ограничивающей катушкой, и экран, выполненный из немагнитного электропроводящего материала, охватывающий магнитный элемент, и включающий средство для ограничения части магнитного поля, расположенной вне зоны распространения магнитного поля с низким магнитным сопротивлением.

33. Средство по любому из пп.29 - 32, **отличающееся** тем, что фронтальная часть ограничивающей катушки включает дополнительную вторую, относительно узкую вертикально ориентированную центральную проводящую долю, расположенную непосредственно за первой центральной проводящей долей на некотором расстоянии, а магнитный элемент включает магнитный материал, расположенный между обеими централь-

ными проводящими долями и контактирующий с ними.

34. Средство по п.33, **отличающееся** тем, что вторая центральная проводящая доля имеет фронтальную поверхность, обращенную к задней поверхности первой центральной проводящей доли, две боковых поверхности, находящихся в электрическом контакте с внутренней боковой поверхностью соответствующей клинообразной проводящей доли, и заднюю поверхность, контактирующую с магнитным элементом.

35. Средство по п. 34, **отличающееся** тем, что вторая центральная проводящая доля имеет нижнюю часть, ориентированную по вертикали на такое же расстояние вниз, что и нижняя часть первой центральной проводящей доли, а нижние части двух центральных проводящих долей находятся в электрическом контакте друг с другом.

36. Средство по п.27, **отличающееся** тем, что оно содержит три трансформатора, каждый из которых включает средство для подачи одного из переменных токов в соответствующую проводящую долю и установленное вблизи проводящей доли средство для уменьшения внешних энергетических потерь.

37. Средство по п. 36, **отличающееся** тем, что каждый из трансформаторов включает первичную катушку, петлеобразный магнитный сердечник, который имеет первую долю, проходящую через первичную катушку, и вторичную катушку, включающую соответствующую проводящую долю, и электропроводное средство, проходящее через петлеобразный магнитный сердечник и имеющее электрический контакт с соответствующей проводящей долей.

38. Средство по п.26 или 27, **отличающееся** тем, что оно включает в себя вторую, относительно узкую вертикально ориентированную центральную проводящую долю, расположенную непосредственно за первой центральной проводящей долей на некотором расстоянии от нее, при этом первая и вторая центральные проводящие доли имеют верхнюю и нижнюю части, а вторая центральная проводящая доля имеет две противоположные стороны, каждая из которых находится в электрическом контакте с соответствующей клинообразной долей, горизонтально расположенную нижнюю проводящую долю, находящуюся в электрическом контакте с нижними частями первой и второй центральных проводящих долей, вертикально ориентированную заднюю проводящую долю, находящуюся в электрическом контакте с нижней проводящей долей и расположенную за второй центральной проводящей долей на некотором расстоянии, а также горизонтально расположенную первую верхнюю проводящую долю, включающую заднюю часть, находящуюся в электрическом контакте с верхней частью вертикально ориентированной задней проводящей доли, и фронтальную часть, находящуюся в электрическом контакте с верхней частью первой центральной проводящей доли, вторую и третью горизонтальные верхние проводящие доли, задняя часть каждой из которых находится в электрическом контакте с частью задней проводящей доли ниже электрического контакта ее с первой верхней проводящей долей, а фронтальная часть находится в

электрическом контакте с верхней частью соответствующей клинообразной доли.

39. Средство по п. 38, **отличающееся** тем, что нижняя часть каждой клинообразной доли расположена выше нижней проводящей доли, а верхняя часть второй центральной проводящей доли расположена ниже второй и третьей верхних проводящих долей на некотором расстоянии.

40. Средство по п.38, **отличающееся** тем, что каждая клинообразная доля имеет вертикально ориентированную внутреннюю поверхность, имеющую электрический контакт с соответствующей противоположной стороной второй центральной проводящей доли, дугообразную внешнюю поверхность, сходящую вниз по направлению к внутренней поверхности, и заднюю поверхность между внутренней и внешней поверхностями.

41. Средство по п. 38, **отличающееся** тем, что первая проводящая доля и клинообразные проводящие доли имеют поверхности, дополнительные к их фронтальной поверхности, а средство включает магнитный элемент для ограничения переменного во времени тока в окрестности фронтальных поверхностей первой центральной проводящей доли и клинообразных проводящих долей на соответствующих вертикальных уровнях проводящих долей.

42. Средство по п.41, **отличающееся** тем, что оно включает экран, выполненный из немагнитного электропроводного материала, охватывающий магнитный элемент, определяющий зону распространения магнитного поля, с низким магнитным сопротивлением и включающий средство для ограничения части горизонтального магнитного поля, расположенной вне зоны распространения магнитного поля с низким магнитным сопротивлением открытого участка зазора.

43. Средство по п.27, **отличающееся** тем, что фронтальная поверхность клинообразной проводящей доли обращена к открытому участку зазора у поверхности разграничения между массой расплава и ближайшим валом, при этом средство дополнительно содержит средство для оказания большего магнитного ограничивающего давления на массу расплава по сравнению с магнитным ограничивающим давлением, оказываемым на массу расплава по мере движения внутрь от поверхности разграничения.

44. Средство по п.43, **отличающееся** тем, что средство для оказания большего магнитного ограничивающего давления содержит средство для увеличения переменного тока, протекающего через клинообразную проводящую долю.

45. Средство по п.26 или 27, **отличающееся** тем, что фронтальная поверхность нижней части первой центральной проводящей доли обращена к открытому участку зазора между валами, а каждая из нижних частей фронтальной поверхности клинообразной проводящей доли расположена выше нижней части фронтальной поверхности первой центральной проводящей доли.

46. Средство по п. 26 или 27, **отличающееся** тем, что оно включает нижнюю часть первой центральной проводящей доли, средство для уменьшения магнитного ограничивающего давления, оказываемого нижней частью первой центральной проводящей доли, по сравнению с магнитным ограни-

чивающим давлением, оказываемым первой центральной проводящей долей в области, расположенной выше нижней части.

47. Средство по п.46, **отличающееся** тем, что первая часть ограничивающей катушки имеет заднюю поверхность, расположенную за ее фронтальной поверхностью на некотором расстоянии, и пару противоположных боковых поверхностей, расположенных между фронтальной поверхностью и задней поверхностью первой части катушки, а также предназначенный для ограничения переменного во времени тока магнитный элемент, контактирующий с задней и боковыми поверхностями первой части катушки и электрически изолированный от них.

48. Средство по п.47, **отличающееся** тем, что средство для уменьшения магнитного ограничивающего давления, оказываемого нижней частью первой центральной проводящей доли, имеет по крайней мере один воздушный зазор в магнитном элементе на вертикальном уровне, соответствующем нижней части первой центральной проводящей доли, при этом в воздушном зазоре установлено средство для уменьшения тока, протекающего вдоль фронтальной поверхности первой центральной проводящей доли для уменьшения плотности магнитного потока и турбулентности вблизи массы расплава.

49. Средство по п.48, **отличающееся** тем, что в магнитном элементе выполнено множество воздушных зазоров, расположенных на некотором расстоянии друг от друга по вертикали, при этом для уменьшения генерации тепла у фронтальной поверхности в каждом воздушном зазоре, кроме первого нижнего из перечисленных зазоров, расположено средство для уменьшения тока, протекающего вдоль фронтальной поверхности каждой проводящей доли на том же уровне по вертикали, что и воздушный зазор.

50. Устройство для непрерывного литья узкой полосой металла, содержащее два вращающихся навстречу друг другу горизонтальных вала, установленных с вертикально ориентированным зазором, участок которого открыт со стороны торцов валов, и удерживающие расплав с их торцов, электромагнитные ограничивающие средства, состоящие каждое из вертикально ориентированной ограничивающей катушки, фронтальная поверхность которой выполнена расширенной сверху и суженной книзу, доходящей до самого узкого места зазора, и обращена к расплаву вблизи открытого участка зазора от него, **отличающееся** тем, что оно содержит средство для протекания через широкую верхнюю часть фронтальной поверхности катушки переменного электрического тока, электромагнитно удерживающего верхнюю часть массы расплава, имеющего проектную максимальную высоту, причем величина силы тока предварительно выбрана, средство для протекания через узкую нижнюю часть фронтальной поверхности катушки переменного электрического тока, электромагнитно удерживающего у узкого места зазора массу расплава, имеющего проектную максимальную высоту, причем переменный электрический ток изолирован от предыдущего, предварительно выбранного, и значительно меньше его по величине силы тока.

51. Устройство по п. 50, **отличающееся** тем, что валы выполнены с одинаковым радиусом, а проектная максимальная высота расплава составляет больше половины радиуса.

52. Устройство по п. 50, **отличающееся** тем, что ограничивающая катушка имеет другие поверхности дополнительно к ее фронтальной поверхности, а электромагнитное ограничивающее средство содержит магнитный элемент для ограничения протекания переменного электрического тока по любой из поверхностей, кроме фронтальной поверхности ограничивающей катушки, на проектных уровнях по вертикали на ограничивающей катушке, а также средство для обеспечения зоны распространения магнитного поля с низким магнитным сопротивлением, генерированного ограничивающей катушкой, и экран из немагнитного электропроводного материала, охватывающий магнитный элемент и включающий средство для ограничения части магнитного поля, проходящей вне зоны распространения магнитного поля с низким магнитным сопротивлением, в области открытого участка зазора между валами.

53. Устройство по п. 52, **отличающееся** тем, что валы выполнены из ферромагнитного материала, каждый вал имеет торец и трубчатый краевой экран, выполненный из меди и имеющий жидкостное охлаждение, а магнитный элемент и охватываю-

щий его экран имеют пару торцов, обращенных к соответствующему трубчатому краевому экрану вала.

54. Способ непрерывного литья узкой полосы металла, включающий подачу расплава металла в зазор между двумя противоположно вращающимися горизонтальными валами и электромагнитными ограничивающими средствами, размещенными у торцов валов, создание горизонтального магнитного поля, удерживающего массу расплава с торцов валов, и наведение двух различных по величине электрических переменных токов в катушке электромагнитного средства, **отличающийся** тем, что первый переменный электрический ток пропускают через часть фронтальной поверхности ограничивающей катушки, расположенную напротив широкой верхней части расплавленного металла, а второй переменный электрический ток пропускают через часть фронтальной поверхности ограничивающей катушки, расположенную напротив узкой самой нижней части массы расплава, а его величина значительно меньше величины первого тока.

55. Способ по п. 54, **отличающийся** тем, что для литья используют валы, выполненные с одинаковым радиусом, а величину проектной максимальной высоты расплава устанавливают больше половины радиуса валов.

Данное изобретение относится к металлургии, а именно к устройствам для электромагнитного удержания расплавленного металла в зазоре между вращающимися валами.

Более конкретно, изобретение относится к электромагнитному ограничивающему устройству, предназначенному для использования вместе с аппаратурой для литья металла узкой полосой.

Аппаратура для литья металла узкой полосой используется для непрерывного литья расплавленного металла сплошной полосой, например стальной полосой. Аппаратура для литья металла узкой полосой обычно включает в себя пару раздвинутых по горизонтали, вращающихся в противоположные стороны валов, которые образуют зазор по вертикали для приема и удержания массы расплавленного металла. Зазор, обозначенный валами, дугообразно сужается по направлению вниз к зажиму между валами. Валы охлаждаются и, в свою очередь, охлаждают расплавленный металл, в то время как расплавленный металл опускается через зазор, превращаясь на выходе в сплошную узкую полосу металла ниже зажима между валами.

Зазор имеет открытый участок вблизи каждого края вала. Расплавленный металл не ограничивается валами у каждого открытого участка зазора. Для предотвращения выделения расплавленного металла наружу через открытый участок зазора используются электромагнитные ограничивающие устройства.

В одном из типов электромагнитных ограничивающих средств используется магнитный

сердечник, обмотанный электропроводной катушкой и имеющий пару раздвинутых магнитных полюсов, расположенных вблизи открытого участка зазора. Электромагнит возбуждается переменным во времени током, текущим через катушку, (например, переменным током или флюктуирующим постоянным током), и этот электромагнит генерирует переменное во времени магнитное поле, распространяющееся поперек открытого участка зазора и между полюсами электромагнита. Магнитное поле создает магнитное ограничивающее давление на массу расплавленного металла у открытого участка зазора. Магнитное поле может быть ориентировано по вертикали или горизонтали, в зависимости от расположения полюсов электромагнита. Примеры электромагнитов, которые создают горизонтальное поле, описаны в Pareg (sic) U. S. Patent № 4936374 and in Praeg U.S. Patent № 5251685. Примеры электромагнитов, которые создают вертикальное магнитное поле, описаны в Lari, et al. U.S. Patent № 4974661.

Другим способом электромагнитного ограничения расплавленного металла у открытого участка зазора между парой валов для литья узкой полосы металла является размещение вблизи открытого участка зазора вертикально расположенной ограничивающей катушки, с фронтальной поверхностью, обращенной лицевой стороной к открытому участку зазора, примыкая к нему. Переменный во времени электрический ток течет через ограничивающую катушку для генерации горизонтального магнитного поля, которое простирается от фронтальной поверхнос-

ти ограничивающей катушки через открытый участок зазора и оказывает магнитное ограничивающее давление на массу расплавленного металла у открытого участка зазора. Элемент, охватывающий значительную часть ограничивающей катушки, за исключением ее фронтальной поверхности, состоит из магнитного материала. Этот магнитный элемент предотвращает в значительной степени утечки переменного во времени электрического тока вдоль поверхностей ограничивающей катушки, кроме ее фронтальной поверхности, а также обеспечивает обратный участок цепи низкого сопротивления для магнитного поля. Кожух катушки состоит из немагнитного электропроводного материала, например меди, в основном, охватывает магнитный элемент и ограничивает часть магнитного поля, находящегося вне обратного участка цепи низкого сопротивления, в значительной степени, пространством вблизи открытого участка зазора.

Конструкции электромагнитных ограничивающих средств катушечного типа описаны в Gerber, et al. U.S. Patent № 5197534 и в Gerber U.S. Patent № 5279350.

Ближайшим прототипом заявляемых вариантов устройства для непрерывного литья узкой полосы металла и электромагнитного ограничивающего средства является патент EP № 0586732 (кл. B22D 11/06), 1992. Прототипом заявляемого способа непрерывного литья узкой полосы металла является способ по патенту WO 91/186967, МПК 6: В 22 D 11/06, 1991.

Магнитный элемент, используемый в электромагнитном ограничивающем средстве катушечного типа, имеет пару концевых выводов, по одному с каждой стороны фронтальной поверхности вертикально расположенной ограничивающей катушки. Желательно механическим или физическим способом экранировать концевые выводы магнитного элемента от расплавленного металла у открытого участка зазора между двумя валами литья узкой полосы металла. Это экранирование должно быть сделано без отрицательного влияния на охлаждение и затвердевание расплавленного металла вблизи открытого участка зазора.

Открытый участок зазора между двумя валами для литья узкой полосы металла и масса расплавленного металла в этом месте имеют ширину, которая дугообразно сужается по направлению вниз. Значение этой ширины максимально вверху массы расплавленного металла и минимально у зажима между двумя валами. Фронтальная поверхность ограничивающей катушки имеет контур, который соответствует контуру открытого участка зазора. Соответственно, фронтальная поверхность ограничивающей катушки имеет максимальную ширину в верхней своей части и минимальную ширину у нижнего края, который расположен непосредственно напротив зажима между валами.

Магнитное давление, действующее на данном уровне по вертикали вдоль фронтальной поверхности электромагнитной ограничивающей катушки, зависит от плотности магнитного потока в данном месте, который, в свою очередь, зависит от плотности тока в данном

месте. Плотность тока в данном месте зависит от ширины проводника (то есть фронтальной поверхности ограничивающей катушки) и от суммарного значения тока, текущего через проводник. Чем шире проводник, тем больший ток должен течь для того, чтобы получить данную, необходимую плотность тока. Верхняя часть массы расплавленного металла имеет относительно более широкие размеры у открытого участка зазора, чем часть фронтальной поверхности ограничивающей катушки на одном и том же уровне по вертикали. Соответственно, на этом верхнем уровне, для того чтобы получить желаемую плотность тока, нужно пропустить относительно больший ток через ограничивающую катушку.

На уровне существенно ниже по вертикали, соответствующем зажиму между двумя валами для литья узкой полосы металла, масса расплавленного металла у открытого участка зазора имеет соответственно более узкие размеры. Гидростатическое давление расплавленного металла имеет максимальное значение у зажима. Соответственно магнитное давление и плотность магнитного потока, генерированного здесь, должны быть также максимальны. Однако ширина фронтальной поверхности ограничивающей катушки непосредственно напротив зажима весьма мала. Следовательно необходимая плотность тока, требуемая для генерации желаемой плотности магнитного потока в этом месте, может быть получена при меньших токах, чем в случае создания необходимой плотности тока на более высоком уровне по вертикали, где зазор шире. Другими словами, ток, требуемый для создания желаемой плотности тока и плотности магнитного потока у открытого участка зазора, в местах вблизи верхней части массы расплавленного металла, больше чем ток, требуемый на уровне напротив зажима между валами для литья узкой полосы металла. Достаточно большой ток для получения желаемой плотности тока напротив массы расплавленного металла может создавать у зажима между валами для литья узкой полосы металла плотность тока, которая значительно больше, чем необходимо. В результате этого значения плотности магнитного потока и магнитного давления становятся чрезмерными и они могут вызывать нежелательную турбулентность в расплавленном металле вблизи зажима. Кроме того, узкая нижняя часть ограничивающей катушки, обращенная лицевой стороной к зазору, может перегреться из-за избыточной плотности тока.

Проблема, описанная в предыдущем параграфе, становится существенной помехой, когда глубина массы расплавленного металла между двумя валами для литья узкой полосы металла составляет большую долю ( $>1/2$ ) радиуса вала. Например, предполагая, что радиус вала равен 60 см и глубина массы равна 40 см, получим значение ширины массы расплавленного металла около 31 см. Ширина фронтальной поверхности ограничивающей катушки обычно немного больше, чем ширина массы расплавленного металла в ее верхней части. При этом значении ширины требуется ток величиной в



20000 А для создания магнитного поля, достаточного для удержания расплавленного металла в верхней части объема. Однако у зажима между валами ширина массы может быть только 0,25 - 1,0 см и соответствующая ширина фронтальной поверхности катушки, хотя и несколько больше, соответственно мала, (например, 2-3 см). При таких малых значениях ширины, ток величиной в 20000 А значительно превышает значения тока, необходимые для удержания массы глубиной 40 см и такой большой ток может вызвать проблемы.

Ток обычно поступает в ограничивающую катушку электромагнитного средства при помощи фидеров, соединенных с трансформатором, расположенным на некотором расстоянии от электромагнитного ограничивающего средства. Обычно используется один трансформатор. Между трансформатором и ограничивающей катушкой происходят потери энергии, и эти потери энергии пропорциональны площади поперечного сечения тока. Если необходимо относительно большое значение тока для генерации желаемой плотности магнитного потока, чтобы удерживать расплавленный металл в своей верхней части, то энергетические потери могут быть существенными при использовании одного трансформатора.

Трансформаторы при использовании с низкоиндуктивными нагрузками, такими как электромагнитные ограничивающие средства, не являются идеальными устройствами. Они подвержены дефекту, называемому утечкой индуктивности, который ограничивает количество тока, которое может быть подано к электромагнитному ограничивающему средству при данном входном напряжении трансформатора. Напряжение, потерянное вследствие утечек индуктивности, вычитается из напряжения на нагрузке (то есть на электромагнитном ограничивающем средстве), которое необходимо было бы обеспечить при отсутствии утечек индуктивности. Утечка индуктивности возникает (обычно неизбежно) вследствие того, что магнитный поток, генерированный первичной обмоткой трансформатора, недостаточно связан со вторичной обмоткой трансформатора.

Происходит потеря некоторого количества потока (утечка магнитного потока). Утечка магнитного потока пропорциональна входному току: чем больше входной ток, тем больше утечка магнитного потока. Чем больше утечка магнитного потока, тем больше перепад напряжения за счет утечки индуктивности и меньше перепад напряжения на нагрузке. Следовательно, утечка индуктивности является фактором, который необходимо учитывать при определении напряжения, требуемого для обеспечения необходимого значения тока для ограничивающей катушки, например, 20000 А. Производители трансформаторов обнаружили, что непрактично проектировать трансформаторы, которые обеспечат 20000 А при низких значениях утечки индуктивности, при изменении частоты от 3000 до 5000 Гц, диапазон частот, наиболее предпочтительный для использования в электромагнитных ограничивающих средствах катушечного типа.

Взаимная индукция между трансформаторами, дефект, связанный с утечкой индуктивности, происходит, когда используются различные отдельные трансформаторы. Некоторое количество потока от первичной катушки одного трансформатора создаст связь с первичной катушкой другого трансформатора, образуя взаимную индукцию. Поток, связанный таким образом, представляет собой потери для практических целей и создает трудности при достижении в трансформаторе токов большого значения.

Задачей данного изобретения является устранение проблем, которые могут возникать при использовании электромагнитных ограничивающих средств катушечного типа в устройстве для осуществления литья узкой полосы металла.

Указанная задача решается благодаря тому, что аппаратура для непрерывного литья металла узкой полосой, содержащая два противоположно вращающихся горизонтальных вала, установленных с вертикально ориентированным зазором, участок которого открыт со стороны торцов валов, и электромагнитное ограничивающее средство, включающее ограничивающую катушку, состоящую из двух частей, первая из которых своей фронтальной поверхностью обращена к зазору, а между первой и второй частями ограничивающей катушки расположен магнитный элемент, охватывающий нижнюю зону первой части катушки, за исключением ее фронтальной поверхности, средство для подачи и ограничения переменного электрического тока, средство для обеспечения зоны распространения магнитного поля с низким магнитным сопротивлением, при этом вторая часть катушки имеет экран, выполненный из немагнитного электропроводного материала, охватывающий магнитный элемент, и включающий средство для ограничения части магнитного поля, находящейся вне зоны низкого магнитного сопротивления, а магнитный элемент электрически изолирован от ограничивающей катушки, согласно изобретению снабжена средством для определения пути распространения магнитного поля вблизи открытого участка зазора и защиты электромагнитного ограничивающего средства от потока расплавленного металла, а каждый вал имеет краевой экран и выполнен с периферийным выступом из материала с электропроводностью меньше, чем у меди, торцевая поверхность которого обращена к фронтальной поверхности ограничивающей катушки, при этом часть боковой поверхности периферийного выступа вала обращена к магнитному элементу, определяющему часть пути распространения магнитного поля, другая часть боковой поверхности периферийного выступа вала обращена к краевому экрану, выполненному из материала с электропроводностью меньше, чем у меди, и определяет другую часть пути распространения магнитного поля. Средство для определения пути распространения магнитного поля вблизи открытого участка зазора и защиты электромагнитного ограничивающего средства от потока расплавленного металла, выполнено в виде или изолированной и отдельной от электромагнит-

ного средства секции с фронтальной поверхностью, обращенной лицевой стороной к электромагнитному средству и граничащей с периферийным выступом вала и с фронтальной поверхностью ограничивающей катушки, или краевого экрана, имеющего выступающую часть, которая выступает наружу в осевом направлении за периферийный выступ вала, и выполненного из немагнитного электропроводного материала с электропроводностью, превышающей электропроводность периферийного выступа вала, при этом периферийный выступ вала и выступающая часть краевого экрана образуют между собой кольцевое пространство, а магнитный элемент и экран ограничивающей катушки имеют выступающие части, расположенные выше фронтальной поверхности ограничивающей катушки внутри кольцевого пространства, или краевого экрана, который закрывает край вала, а его выступающая часть простерта наружу в осевом направлении, при этом краевой экран и его выступающая часть выполнены из немагнитного электропроводного материала с электропроводностью выше электропроводности периферийного выступа вала, а краевая поверхность периферийного выступа вала выступает наружу в осевом направлении выше края вала, в кольцевом пространстве установлен кольцеобразный элемент, выполненный из магнитного материала с электропроводностью меньшей, чем у меди, или периферийного выступа вала, который простерт наружу в осевом направлении к фронтальной поверхности ограничивающей катушки, а магнитный элемент выполнен в виде пары раздвинутых зубцов, каждый из которых простерт наружу поверх фронтальной поверхности к краю соответствующего вала, при этом периферийные выступы валов расположены вдоль боковых сторон раздвинутых зубцов, не перекрывая их.

Кроме того, при использовании средства для определения пути распространения магнитного поля вблизи открытого участка зазора и защиты электромагнитного ограничивающего средства от потока расплавленного металла, выполненного в виде изолированной и отдельной от электромагнитного средства секции, с фронтальной поверхностью, обращенной лицевой стороной к электромагнитному средству, и граничащей с периферийным выступом вала и с фронтальной поверхностью ограничивающей катушки, граничная поверхность периферийного выступа вала выступает наружу за край вала в осевом направлении.

При использовании средства для определения пути распространения магнитного поля вблизи открытого участка зазора и защиты электромагнитного средства от потока расплавленного металла, выполненного в виде изолированной и отдельной от электромагнитного средства секции, с фронтальной поверхностью, обращенной лицевой стороной к электромагнитному средству и граничащей с периферийным выступом вала и с фронтальной поверхностью ограничивающей катушки, изолированная и отдельная секция отделена и изолирована от каждого вала и включает первую боковую поверх-

ность, обращенную к периферийному выступу вала, вторую боковую поверхность, отодвинутую радиально внутрь от первой боковой поверхности, и заднюю поверхность вблизи края соответствующего вала.

Указанная задача решается тем, что вторая боковая поверхность секции наклонена радиально внутрь от фронтальной части к задней поверхности секции, а расстояние между боковыми поверхностями поперек секции увеличено от фронтальной части к задней поверхности секции.

В промежутке между первой боковой поверхностью секции и периферийным выступом вала расположено средство для подвода жидкости, охлаждающей периферийный выступ вала.

При использовании средства для определения пути распространения магнитного поля вблизи открытого участка зазора и защиты электромагнитного средства от потока расплавленного металла, выполненного в виде изолированной и отдельной от электромагнитного средства секции, с фронтальной поверхностью, обращенной лицевой стороной к электромагнитному средству и граничащей с периферийным выступом вала и с фронтальной поверхностью ограничивающей катушки, изолированная и отдельная секция и периферийный выступ вала выполнены из немагнитного материала.

При использовании средства для определения пути распространения магнитного поля вблизи открытого участка зазора и защиты электромагнитного средства от потока расплавленного металла, выполненного в виде изолированной и отдельной от электромагнитного средства секции, с фронтальной поверхностью, обращенной лицевой стороной к электромагнитному средству и граничащей с периферийным выступом вала и с фронтальной поверхностью ограничивающей катушки, краевой экран каждого вала расположен радиально внутрь от периферийного выступа вала, при этом краевой экран вала имеет более высокую электропроводность, чем периферийный выступ вала и секция, и включает средство для значительного ограничения потока магнитного поля поперек зазора в области его открытого участка.

Краевой экран вала расположен радиально внутрь от изолированной и отдельной секции.

Периферийный выступ вала выполнен из немагнитного материала, а изолированная и отдельная секция сделана из магнитного материала.

При использовании средства для определения пути распространения магнитного поля вблизи открытого участка зазора и защиты электромагнитного средства от потока расплавленного металла, выполненного в виде изолированной и отдельной от электромагнитного средства секции, с фронтальной поверхностью, обращенной лицевой стороной к электромагнитному средству и граничащей с периферийным выступом вала и с фронтальной поверхностью ограничивающей катушки, экран катушки имеет граничную поверхность, которая обращена к

краю соответствующего вала и, в основном, прилегает к вышеупомянутой граничной поверхности электромагнитного охватывающего средства.

При использовании средства для определения пути распространения магнитного поля вблизи открытого участка зазора и защиты электромагнитного средства от потока расплавленного металла, выполненного в виде изолированной и отдельной от электромагнитного средства секции, с фронтальной поверхностью, обращенной лицевой стороной к электромагнитному средству и граничащей с периферийным выступом вала и с фронтальной поверхностью ограничивающей катушки, устройство снабжено средством для охлаждения периферийного выступа вала в виде дугообразного сегмента, выполненного с возможностью прохождения через него выступа при вращении сразу после прохождения им магнитного поля, генерированного ограничивающей катушкой, при этом интенсивность охлаждения выступа в дугообразном сегменте значительно выше, чем в области действия магнитного поля.

Выступ вала имеет кривизну, соответствующую кривизне вала, и внутреннюю поверхность, расположенную радиально внутрь от внешней периферии вала, а средство для охлаждения включает в себя средство для направления охлаждающей жидкости к внутренней поверхности периферийного выступа вала вдоль поверхности дугообразного сегмента.

При использовании средства для определения пути распространения магнитного поля вблизи открытого участка зазора и защиты электромагнитного средства от потока расплавленного металла, выполненного в виде краевого экрана, имеющего выступающую часть, которая выступает наружу в осевом направлении за периферийный выступ вала, и выполненного из немагнитного электропроводного материала с электропроводностью, превышающей электропроводность периферийного выступа вала, при этом периферийный выступ вала и выступающая часть краевого экрана образуют между собой кольцевое пространство, а магнитный элемент и экран ограничивающей катушки имеют выступающие части, расположенные выше фронтальной поверхности ограничивающей катушки внутри кольцевого пространства, выступающая часть электромагнитного охватывающего средства и выступающая часть экрана ограничивающей катушки простерты выше фронтальной поверхности ограничивающей катушки на расстояние  $(1-3) \delta$ , при этом

$$\delta = \sqrt{2 / \omega \mu \sigma},$$

где  $\delta$  представляет собой глубину поверхностного слоя расплавленного металла;

$f$  - частота используемого переменного во времени электрического тока;

$\omega$  равно  $2\pi f$ ;

$\mu$  - магнитная проницаемость воздуха;

$\sigma$  - электропроводность расплавленного металла.

При использовании средства для определения пути распространения магнитного поля вблизи открытого участка зазора и защиты электромагнитного средства от потока расплавленного металла, выполненного в виде краевого экрана, имеющего выступающую часть, которая выступает наружу в осевом направлении за периферийный выступ вала, и выполненного из немагнитного электропроводного материала с электропроводностью, превышающей электропроводность периферийного выступа вала, при этом периферийный выступ вала и выступающая часть краевого экрана образуют между собой кольцевое пространство, а магнитный элемент и экран ограничивающей катушки имеют выступающие части, расположенные выше фронтальной поверхности ограничивающей катушки внутри кольцевого пространства, краевой экран вала выступает наружу в осевом направлении за периферийный выступ вала.

При использовании средства для определения пути распространения магнитного поля вблизи открытого участка зазора и защиты электромагнитного средства от потока расплавленного металла, выполненного в виде краевого экрана, имеющего выступающую часть, которая выступает наружу в осевом направлении за периферийный выступ вала, и выполненного из немагнитного электропроводного материала с электропроводностью, превышающей электропроводность периферийного выступа вала, при этом периферийный выступ вала и выступающая часть краевого экрана образуют между собой кольцевое пространство, а магнитный элемент и экран ограничивающей катушки имеют выступающие части, расположенные выше фронтальной поверхности ограничивающей катушки внутри кольцевого пространства, все экраны сделаны из меди, а периферийный выступ вала выполнен из немагнитной нержавеющей стали.

При использовании средства для определения пути распространения магнитного поля вблизи открытого участка зазора и защиты электромагнитного средства от потока расплавленного металла, выполненного в виде краевого экрана, имеющего выступающую часть, которая выступает наружу в осевом направлении за периферийный выступ вала, и выполненного из немагнитного электропроводного материала с электропроводностью, превышающей электропроводность периферийного выступа вала, при этом периферийный выступ вала и выступающая часть краевого экрана образуют между собой кольцевое пространство, а магнитный элемент и экран ограничивающей катушки имеют выступающие части, расположенные выше фронтальной поверхности ограничивающей катушки внутри кольцевого пространства, периферийный выступ вала имеет толщину в радиальном направлении менее  $2 \delta'$ , при этом

$$\delta' = \sqrt{2 / \omega \mu \sigma},$$

где  $\delta'$  представляет собой глубину поверхностного слоя материала, из которого выполнен периферийный выступ вала;

$\omega$  равно  $2\pi f$ ;  
 $f$  - частота используемого переменного во времени электрического тока;  
 $\mu$  - магнитная проницаемость вышеупомянутого материала;  
 $\sigma$  - электропроводность вышеупомянутого материала.

При использовании средства для определения пути распространения магнитного поля вблизи открытого участка зазора и защиты электромагнитного средства от потока расплавленного металла, выполненного в виде краевого экрана, который закрывает край вала, а его выступающая часть простерта наружу в осевом направлении, при этом краевой экран и его выступающая часть выполнены из немагнитного электропроводного материала с электропроводностью выше электропроводности периферийного выступа вала, а краевая поверхность периферийного выступа вала выступает наружу в осевом направлении выше края вала, в кольцевом пространстве установлен кольцеобразный элемент, выполненный из магнитного материала, с электропроводностью меньшей, чем у меди, кольцевое пространство, в основном, заполнено кольцеобразным элементом.

При использовании средства для определения пути распространения магнитного поля вблизи открытого участка зазора и защиты электромагнитного средства от потока расплавленного металла, выполненного в виде краевого экрана, который закрывает край вала, а его выступающая часть простерта наружу в осевом направлении, при этом краевой экран и его выступающая часть выполнены из немагнитного электропроводного материала с электропроводностью выше электропроводности периферийного выступа вала, а краевая поверхность периферийного выступа вала выступает наружу в осевом направлении выше края вала, в кольцевом пространстве установлен кольцеобразный элемент, выполненный из магнитного материала, с электропроводностью меньшей, чем у меди, кольцеобразный элемент установлен в кольцевом пространстве относительно периферийного выступа вала с зазором, в котором размещено средство для приема струи газа, охлаждающего периферийный выступ вала.

При использовании средства для определения пути распространения магнитного поля вблизи открытого участка зазора и защиты электромагнитного средства от потока расплавленного металла, выполненного в виде краевого экрана, который закрывает край вала, а его выступающая часть простерта наружу в осевом направлении, при этом краевой экран и его выступающая часть выполнены из немагнитного электропроводного материала с электропроводностью выше электропроводности периферийного выступа вала, а краевая поверхность периферийного выступа вала выступает наружу в осевом направлении выше края вала, и в кольцевом пространстве установлен кольцеобразный элемент, выполненный из магнитного материала, с электропроводностью меньшей, чем у меди, кольцеобразный элемент выполнен или из магнитного материала, или из немагнитного ма-

териала, который имеет электропроводность меньше, чем у меди.

При использовании средства для определения пути распространения магнитного поля вблизи открытого участка зазора и защиты электромагнитного средства от потока расплавленного металла, выполненного в виде периферийного выступа вала, который простерт наружу в осевом направлении к фронтальной поверхности ограничивающей катушки, а магнитный элемент выполнен в виде пары раздвинутых зубцов, каждый из которых простерт наружу поверх фронтальной поверхности к краю соответствующего вала, при этом периферийные выступы валов расположены вдоль боковых сторон раздвинутых зубцов, не перекрывая их, экран катушки включает пару раздвинутых между собой зубцов, каждый из которых расположен вдоль боковой стороны соответствующего зубца магнитного элемента и выполнен с примерно одинаковой протяженностью.

При использовании средства для определения пути распространения магнитного поля вблизи открытого участка зазора и защиты электромагнитного средства от потока расплавленного металла, выполненного в виде периферийного выступа вала, который простерт наружу в осевом направлении к фронтальной поверхности ограничивающей катушки, а магнитный элемент выполнен в виде пары раздвинутых зубцов, каждый из которых простерт наружу поверх фронтальной поверхности к краю соответствующего вала, при этом периферийные выступы валов расположены вдоль боковых сторон раздвинутых зубцов, не перекрывая их, краевой экран расположен радиально внутрь от периферийного выступа вала и закрывает край вала, при этом краевой экран имеет более высокую электропроводность, чем периферийный выступ вала, и включает средство для предотвращения выхода магнитного потока из окрестности края зубца и ограничения магнитного поля, в основном, контуром, который простерт между парой зубцов, поперек пары периферийных выступов и поперек зазора вблизи его открытого участка.

Периферийный выступ вала и периферийная поверхность вала выполнены из одного немагнитного электропроводного материала.

Периферийный выступ вала выступает за край краевого экрана на расстояние большее 80 % $\delta$ .

Периферийный выступ вала имеет толщину в радиальном направлении менее двух  $\delta$ '.

Толщина периферийного выступа вала менее одной  $\delta$ '. Указанная задача решается также благодаря тому, что в электромагнитном ограничивающем устройстве для удержания массы расплава у открытого участка вертикально ориентированного зазора между двумя горизонтально расположенными валами, содержащем ограничивающую катушку, состоящую из двух частей, первая из которых расположена вблизи валов и содержит пару клинообразных, вертикально ориентированных проводящих долей, при этом каждая из клинообразных долей имеет фронтальную поверхность, суженную по ширине

от широкой верхней части к узкой нижней части, а фронтальная поверхность каждой проводящей доли обращена к открытому участку упомянутого зазора, согласно изобретению первая часть ограничивающей катушки содержит дополнительную первую вертикально ориентированную центральную проводящую долю, установленную между клинообразными проводящими долями ограничивающей катушки и контактирующую с ними, а клинообразные проводящие доли электрически изолированы от первой центральной проводящей доли, при этом первая центральная проводящая доля имеет относительно узкую фронтальную поверхность, обращенную к открытому участку вышеуказанного зазора и имеющую нижнюю часть, средства, включающие клинообразные проводящие доли и первую центральную долю, предназначены для генерации горизонтального магнитного поля при протекании переменного электрического тока через ограничивающую катушку для оказания магнитного ограничивающего давления на массу расплава у открытого участка зазора, а первая часть ограничивающей катушки имеет фронтальную поверхность, образованную фронтальными поверхностями клинообразных проводящих долей и первой центральной проводящей доли.

Кроме того, электромагнитное ограничивающее устройство включает средство для протекания первого переменного тока через первую центральную проводящую долю, средство для протекания второго переменного тока, изолированного и отдельного от первого переменного тока через одну из клинообразных проводящих долей, и средство для протекания третьего переменного, изолированного и отдельного от первого и второго переменных через другую клинообразную проводящую долю.

Кроме того, устройство включает средство для подачи второго и третьего переменного токов, величина которых меньше силы первого переменного тока.

Каждая из проводящих долей первой части ограничивающей катушки имеет заднюю поверхность, каждая из клинообразных проводящих долей имеет внутреннюю боковую поверхность, контактирующую с соответствующей противоположащей стороной центральной проводящей доли, и внешнюю боковую поверхность, а электромагнитное средство включает магнитный элемент, который имеет части, контактирующие с каждой из задних поверхностей и с внешними поверхностями клинообразных проводящих долей для ограничения переменных токов во фронтальных поверхностях проводящих долей на проектных вертикальных уровнях проводящих долей, при этом магнитный элемент электрически изолирован от проводящих долей.

Магнитный элемент имеет, по крайней мере, один воздушный зазор, расположенный на вертикальном уровне, соответствующем нижней части первой центральной проводящей доли, при этом для уменьшения плотности магнитного потока и турбулентности вблизи лицевой части массы расплава в воздушном зазоре установлено средство для уменьшения тока, протекаю-

щего вдоль нижней части фронтальной поверхности первой центральной проводящей доли.

Кроме того, выше упомянутого воздушного зазора по вертикали магнитный элемент выполнен с множеством воздушных зазоров, расположенных на некотором расстоянии друг от друга, при этом в каждом зазоре расположено средство для уменьшения тока, протекающего вдоль фронтальной поверхности проводящей доли, на том же уровне по вертикали, что и упомянутый воздушный зазор, для уменьшения генерации тепла у фронтальной поверхности.

Электромагнитное ограничивающее средство включает магнитный элемент для ограничения переменных во времени токов окрестностью фронтальных поверхностей проводящих долей на соответствующих уровнях по вертикали у проводящих долей и для обеспечения зоны распространения магнитного поля с низким магнитным сопротивлением, генерированного ограничивающей катушкой, и экран, выполненный из немагнитного электропроводящего материала, охватывающий магнитный элемент, и включающий средство для ограничения части магнитного поля, расположенной вне зоны распространения магнитного поля с низким магнитным сопротивлением.

Фронтальная часть ограничивающей катушки включает дополнительную вторую, относительно узкую вертикально ориентированную центральную проводящую долю, расположенную непосредственно за первой центральной проводящей долей на некотором расстоянии, а магнитный элемент включает магнитный материал, расположенный между обеими центральными проводящими долями и контактирующий с ними.

Вторая центральная проводящая доля имеет фронтальную поверхность, обращенную к задней поверхности первой центральной проводящей доли, две боковых поверхности, находящихся в электрическом контакте с внутренней боковой поверхностью соответствующей клинообразной проводящей доли, и заднюю поверхность, контактирующую с магнитным элементом.

Вторая центральная проводящая доля имеет нижнюю часть, ориентированную по вертикали на такое же расстояние вниз, что и нижняя часть первой центральной проводящей доли, а нижние части двух центральных проводящих долей находятся в электрическом контакте друг с другом.

Устройство, кроме того, содержит три трансформатора, каждый из которых включает средство для подачи одного из переменных токов в соответствующую проводящую долю и установленное вблизи проводящей доли средство для уменьшения внешних энергетических потерь.

Каждый из трансформаторов включает первичную катушку, петлеобразный магнитный сердечник, который имеет первую долю, проходящую через первичную катушку, и вторичную катушку, включающую соответствующую проводящую долю, и электропроводное средство, проходящее через петлеобразный магнитный

сердечник и имеющее электрический контакт с соответствующей проводящей долей.

Электромагнитное ограничивающее устройство включает в себя вторую, относительно узкую вертикально ориентированную центральную проводящую долю, расположенную непосредственно за первой центральной проводящей долей на некотором расстоянии от нее, при этом первая и вторая центральные проводящие доли имеют верхнюю и нижнюю части, а вторая центральная проводящая доля имеет две противоположные стороны, каждая из которых находится в электрическом контакте с соответствующей клинообразной долей, горизонтально расположенную нижнюю проводящую долю, находящуюся в электрическом контакте с нижними частями первой и второй центральных проводящих долей, вертикально ориентированную заднюю проводящую долю, находящуюся в электрическом контакте с нижней проводящей долей и расположенную за второй центральной проводящей долей на некотором расстоянии, а также горизонтально расположенную первую верхнюю проводящую долю, включающую заднюю часть, находящуюся в электрическом контакте с верхней частью вертикально ориентированной задней проводящей доли, и фронтальную часть, находящуюся в электрическом контакте с верхней частью первой центральной проводящей доли, вторую и третью горизонтальные верхние проводящие доли, задняя часть каждой из которых находится в электрическом контакте с частью задней проводящей доли ниже электрического контакта ее с первой верхней проводящей долей, а фронтальная часть находится в электрическом контакте с верхней частью соответствующей клинообразной доли.

Нижняя часть каждой клинообразной доли расположена выше нижней проводящей доли, а верхняя часть второй центральной проводящей доли расположена ниже второй и третьей верхних проводящих долей на некотором расстоянии.

Каждая клинообразная доля имеет вертикально ориентированную внутреннюю поверхность, имеющую электрический контакт с соответствующей противоположной стороной второй центральной проводящей доли, дугообразную внешнюю поверхность, сходящую вниз по направлению к внутренней поверхности, и заднюю поверхность между внутренней и внешней поверхностями.

Первая проводящая доля и клинообразные проводящие доли имеют поверхности, дополненные к их фронтальной поверхности, а средство включает магнитный элемент для ограничения переменного во времени тока в окрестности фронтальных поверхностей первой центральной проводящей доли и клинообразных проводящих долей на соответствующих вертикальных уровнях проводящих долей.

Устройство включает экран, выполненный из немагнитного электропроводного материала, охватывающий магнитный элемент, определяющий зону распространения магнитного поля, с низким магнитным сопротивлением и включающий средство для ограничения части горизон-

тального магнитного поля, расположенной вне зоны распространения магнитного поля с низким магнитным сопротивлением открытого участка зазора.

Фронтальная поверхность клинообразной проводящей доли обращена к открытому участку зазора у поверхности разграничения между массой расплава и ближайшим валом, при этом устройство дополнительно содержит средство для оказания большего магнитного ограничивающего давления на массу расплава по сравнению с магнитным ограничивающим давлением, оказываемым на массу расплава по мере движения внутрь от поверхности разграничения.

Средство для оказания большего магнитного ограничивающего давления содержит средство для увеличения переменного тока, протекающего через клинообразную проводящую долю.

Фронтальная поверхность нижней части первой центральной проводящей доли обращена к открытому участку зазора между валами, а каждая из нижних частей фронтальной поверхности клинообразной проводящей доли расположена выше нижней части фронтальной поверхности первой центральной проводящей доли.

Кроме того, устройство включает нижнюю часть первой центральной проводящей доли, средство для уменьшения магнитного ограничивающего давления, оказываемого нижней частью первой центральной проводящей доли, по сравнению с магнитным ограничивающим давлением, оказываемым первой центральной проводящей долей в области, расположенной выше нижней части.

Первая часть ограничивающей катушки имеет заднюю поверхность, расположенную за ее фронтальной поверхностью на некотором расстоянии, и пару противоположных боковых поверхностей, расположенных между фронтальной поверхностью и задней поверхностью первой части катушки, а также предназначенный для ограничения переменного во времени тока магнитный элемент, контактирующий с задней и боковыми поверхностями первой части катушки и электрически изолированный от них.

Средство для уменьшения магнитного ограничивающего давления, оказываемого нижней частью первой центральной проводящей доли, имеет по крайней мере, один воздушный зазор в магнитном элементе на вертикальном уровне, соответствующем нижней части первой центральной проводящей доли, при этом в воздушном зазоре установлено средство для уменьшения тока, протекающего вдоль фронтальной поверхности первой центральной проводящей доли для уменьшения плотности магнитного потока и турбулентности вблизи массы расплава.

В магнитном элементе выполнено множество воздушных зазоров, расположенных на некотором расстоянии друг от друга по вертикали, при этом для уменьшения генерации тепла у фронтальной поверхности в каждом воздушном зазоре, кроме первого нижнего из перечисленных зазоров, расположено средство

для уменьшения тока, протекающего вдоль фронтальной поверхности каждой проводящей доли на том же уровне по вертикали, что и воздушный зазор.

Указанная задача решается также благодаря еще одному варианту аппаратуры для непрерывного литья металла узкой полосой, содержащей два вращающихся навстречу друг другу горизонтальных вала, установленных с вертикально ориентированным зазором, участок которого открыт со стороны торцов валов, и удерживающие расплав с их торцов, электромагнитные ограничивающие средства, состоящие каждое из вертикально ориентированной ограничивающей катушки, фронтальная поверхность которой выполнена расширенной кверху и суженной книзу, доходящей до самого узкого места зазора, и обращена к расплаву вблизи открытого участка зазора от него, которая согласно изобретению содержит средство для протекания через широкую верхнюю часть фронтальной поверхности катушки переменного электрического тока, электромагнитно удерживающее верхнюю часть массы расплава, имеющего проектную максимальную высоту, причем величина силы тока предварительно выбрана, средство для протекания через узкую нижнюю часть фронтальной поверхности катушки переменного электрического тока, электромагнитно удерживающего у узкого места зазора массу расплава, имеющего проектную максимальную высоту, причем переменный электрический ток изолирован от предыдущего, предварительно выбранного, и значительно меньше его по величине силы тока.

Валы выполнены с одинаковым радиусом, а проектная максимальная высота расплава составляет больше половины радиуса.

Ограничивающая катушка имеет другие поверхности дополнительно к ее фронтальной поверхности, а электромагнитное ограничивающее устройство содержит магнитный элемент для ограничения протекания переменного электрического тока по любой из поверхностей, кроме фронтальной поверхности ограничивающей катушки, на проектных уровнях по вертикали на ограничивающей катушке, а также средство для обеспечения зоны распространения магнитного поля с низким магнитным сопротивлением, генерированного ограничивающей катушкой, и экран из немагнитного электропроводного материала, охватывающий магнитный элемент и включающий средство для ограничения части магнитного поля, проходящей вне зоны распространения магнитного поля с низким магнитным сопротивлением, в области открытого участка зазора между валами.

Валы выполнены из ферромагнитного материала, каждый вал имеет торец и трубчатый краевой экран, выполненный из меди и имеющий жидкостное охлаждение, а магнитный элемент и охватывающий его экран имеют пару торцов, обращенных к соответствующему трубчатому краевому экрану вала.

Указанная задача решается благодаря способу непрерывного литья металла узкой полосой, включающему подачу расплава металла

в зазор между двумя противоположно вращающимися горизонтальными валами и электромагнитными ограничивающими устройствами, размещенными у торцов валов, создание горизонтального магнитного поля, удерживающего массу расплава у торцов валов, и наведение двух различных по величине электрических переменных токов в катушке электромагнитного средства, в котором, согласно изобретению первый переменный электрический ток пропускают через часть фронтальной поверхности ограничивающей катушки, расположенную напротив широкой верхней части расплавленного металла, а второй переменный электрический ток пропускают через часть фронтальной поверхности ограничивающей катушки, расположенную напротив узкой самой нижней части массы расплава, а его величина значительно меньше величины первого тока.

Кроме того, для литья используют валы, выполненные с одинаковым радиусом, а величину проектной максимальной высоты расплава устанавливают больше половины радиуса валов.

В соответствии с одной из конструкций данного изобретения концевые выводы магнитного элемента электромагнитного ограничивающего устройства защищены механическим или физическим образом от расплавленного металла у открытого участка зазора между двумя валами для литья узкой полосы металла, и это осуществлено без отрицательного влияния на охлаждение и затвердевание расплавленного металла вблизи открытого участка зазора.

Эта конструкция данного изобретения включает в себя периферийный выступ на конце каждого вала для литья. Этот выступ обращен своей торцевой поверхностью к фронтальной поверхности ограничивающей катушки вблизи нее, и определяет часть пути распространения магнитного поля. Вдоль боковой стороны периферийного выступа вала в радиальном направлении внутрь от него расположена секция, которая обозначает другую часть пути распространения магнитного поля. В одном случае эта секция может быть отдельной и изолированной от магнитного элемента, используемого в электромагнитном средстве; в другом случае эта секция может представлять собой выступающую часть, которая простирается от магнитного элемента за фронтальную поверхность ограничивающей катушки вдоль ее боковой стороны и расположенную радиально внутрь периферийного выступа вала. В последнем случае периферийный выступ вала находится между выступом магнитного элемента и расплавленным металлом, в результате периферийный выступ вала экранирует конечную часть выступа магнитного элемента от расплавленного металла. В обоих случаях магнитный элемент и валы для литья снабжены компонентами, которые обозначают путь распространения магнитного поля вблизи открытого участка зазора и защищают концевые выводы магнитного элемента от расплавленного металла.

В другой конструкции в соответствии с данным изобретением фронтальная поверх-

ность ограничивающей катушки своей вершиной расположена напротив верхней части расплавленного металла, где требования по току максимальны; и вершина фронтальной поверхности катушки обеспечивается током, значения которого существенно больше значений тока, который подается к фронтальной поверхности ограничивающей катушки на уровне зажима между валами для литья, где требования по току не так высоки. На каждом уровне напротив массы расплавленного металла существует достаточный ток для обеспечения плотности тока, необходимой для ограничения расплавленного металла в этом месте. Однако значения плотности магнитного потока и магнитного давления у зажима не так высоки, чтобы вызвать нежелательную турбулентность в расплавленном металле вблизи зажима. Более того, в этой конструкции как энергетические потери, так и утечки индуктивности уменьшаются.

Преимущества, описанные в предыдущем абзаце, получены при использовании ограничивающей катушки, включающей в себя три отдельных доли: первую вертикально ориентированную, относительно узкую центральную проводящую долю, имеющую пару противоположащих боковых сторон, и пару клинообразных вертикально ориентированных проводящих долей, каждая из которых расположена на соответствующей противоположащей стороне центральной проводящей доли, вплотную к ней. Каждая из клинообразных проводящих долей электрически изолирована от центральной проводящей доли. Центральная проводящая доля имеет относительно узкую фронтальную поверхность, обращенную лицевой стороной к открытому участку зазора между двумя валами для литья. Каждая из клинообразных проводящих долей имеет фронтальную поверхность, уменьшающуюся по ширине от относительно широкой верхней части до относительно узкой в нижней части. Каждая фронтальная поверхность клинообразных долей обращена лицевой стороной к открытому участку зазора между двумя валами для литья. Образуется контур для протекания через центральную проводящую долю первого переменного во времени тока с предварительно выбранной силой тока. Также образуются контура для протекания через каждую из клинообразных проводящих долей соответственно второго и третьего переменных во времени токов, которые изолированы друг от друга и от первого переменного во времени тока. Любой из второго, и третьего переменных во времени токов имеет соответствующую предварительно выбранную силу тока, которая может отличаться от предварительно выбранной силы тока, и обычно меньше первого переменного во времени тока, который течет через центральную проводящую долю.

Центральная проводящая доля внизу обращена лицевой стороной к открытому участку зазора у зажима между двумя валами для литья. Каждая клинообразная проводящая доля имеет нижний край, который расположен выше нижнего края центральной проводящей части. Плотность тока в части ограничивающей катушки,

расположенной напротив вершины массы расплавленного металла, где ширина объема массы имеет максимальное значение, определяется током, текущим через все три доли ограничивающей катушки. Плотность тока в части ограничивающей катушки, расположенной напротив зажима между двумя валами для литья, где ширина объема массы расплавленного металла имеет минимальное значение, определяется только током, текущим через центральную проводящую долю ограничивающей катушки. Ток, текущий через нижние края двух клинообразных проводящих долей, не увеличивает плотность тока в части ограничивающей катушки, расположенной напротив зажима между двумя валами для литья. Это происходит потому, что нижние края каждой клинообразной проводящей доли расположены выше нижнего края центральной проводящей доли, и ток, текущий через каждую из этих клинообразных проводящих долей, не опускается вниз до места напротив зажима между двумя валами для литья.

Например, предположим, что плотность тока, необходимая для ограничения массы расплавленного металла в верхней ее части, создается током силой в 20000 А, текущим в ограничивающей катушке на уровне верхней части массы расплавленного металла. Эта суммарная сила тока обычно делится среди трех проводящих долей ограничивающей катушки следующим образом: 10000 А - в центральной проводящей доле и по 5000 А - в каждой из двух клинообразных проводящих долей. С другой стороны, плотность тока, необходимая для удержания массы расплавленного металла у зазора между двумя валами для литья, должна быть только 10000 А, и ток протекает только через центральную проводящую долю ограничивающей катушки. Не требуется токов через отдельный контур силой в 20000 А. Максимальный ток, текущий через любой отдельный контур, обращенный лицевой стороной к массе расплавленного металла, должен быть 10000 А. Поскольку энергетические потери пропорциональны площади поперечного сечения тока, то суммарные энергетические потери, которые должны происходить при использовании ограничивающей катушки с тремя отдельными проводящими долями, представляют собой сумму трех энергетических потерь, соответствующих токам 10000 А, 5000 А и еще 5000 А. Эта величина должна быть существенно меньше, чем энергетические потери, вызванные прохождением тока в 20000 А через отдельный контур.

Каждая из трех проводящих долей ограничивающей катушки электрически связана с первой катушкой трансформатора, изолированной и отдельной от первых катушек трансформатора, с которыми связаны другие доли ограничивающей катушки. Ток, текущий через каждую из соответствующих первых катушек трансформатора, существенно меньше, чем ток, который бы тек через первую катушку трансформатора, если бы ограничивающая катушка представляла бы одно целое и была сцеплена с



единственным трансформатором. В случае одного трансформатора входной ток в первой катушке трансформатора должен быть относительно выше (например, ток, который необходим для производства тока во второй катушке величиной в 20000 А). Как отмечалось выше, относительно высокие значения входного тока приводят к относительно большим перепадам напряжения за счет относительно высоких утечек индуктивности, что, в свою очередь, приводит к относительно низким перепадам напряжения на нагрузке, то есть на ограничивающей катушке.

Общие потери индуктивности, включая утечки индуктивности, в трехдольной, ограничивающей катушке, сконструированной в соответствии с данным изобретением, меньше, чем утечки индуктивности и другие потери индуктивности при использовании ограничивающей катушки в виде одного целого, соединенной с одним трансформатором.

Существует, конечно, взаимная индуктивность среди трех трансформаторов, которые используются в соответствии с данным изобретением, однако из-за меньших токов и по другим причинам, общие потери индуктивности (взаимная индуктивность плюс утечки индуктивности) при использовании трех отдельных трансформаторов в соответствии с данным изобретением меньше, чем потери индуктивности, которые должны происходить при использовании одного трансформатора, и относительно высокого тока, необходимого для создания плотности тока, достаточной для ограничения массы расплавленного металла в его верхней части.

Другие особенности и преимущества, присущие предмету изобретения, заявлены и показаны или будут понятны специалистам из следующего детального описания вместе с соответствующими схематическими чертежами.

Фиг. 1 представляет собой вид сбоку устройства для литья узкой полосы металла, включающего электромагнитное ограничивающее средство.

Фиг. 2 представляет собой увеличенный фрагмент вида сбоку части объекта изобретения, показанного на фиг. 1.

Фиг. 3 представляет собой фрагментарный вид в плане устройства.

Фиг. 4 представляет собой расчлененную перспективу электромагнитного ограничивающего средства, которое может быть использовано в соответствии с одной из конструкций данного изобретения.

Фиг. 5 представляет собой фрагмент горизонтального разреза, иллюстрирующий конструкцию данного изобретения, использующую периферийные выступы на каждом из валов для литья при их использовании в устройстве для литья узкой полосы металла.

Фиг. 6 представляет собой разрез, аналогичный показанному на фиг. 5, без штриховых линий, где обозначено магнитное поле, создаваемое устройством для литья узкой полосы металла, включающим электромагнитное ограничивающее средство в соответствии с данным изобретением.

Фиг. 7 представляет собой вид сбоку, иллюстрирующий механизм для охлаждения периферийных выступов вала в соответствии с данным изобретением.

Фиг. 8 представляет собой увеличенный фрагмент разреза, аналогичный показанному на фиг. 5 и иллюстрирующий часть другой конструкции данного изобретения.

Фиг. 9 представляет собой вид сбоку конструкции электромагнитного ограничивающего средства, содержащего ограничивающую катушку в соответствии с данным изобретением.

Фиг. 10 представляет собой вид сбоку средства, показанного на фиг. 9, частично в разрезе.

Фиг. 11 представляет собой перспективу средства, показанного на фиг. 9 и 10.

Фиг. 12 представляет собой увеличенный фрагментарный вид, аналогичный фиг. 6, где показано магнитное поле, создаваемое другой конструкцией устройства для литья узкой полосы металла, включающего электромагнитное ограничивающее средство в соответствии с данным изобретением.

Фиг. 13 представляет собой фрагмент вида в плане средства, показанного на фиг. 9-11.

Фиг. 14 представляет собой увеличенный фрагмент разреза, аналогичный фиг. 8 и иллюстрирующий часть следующей конструкции данного изобретения.

Фиг. 15 представляет собой увеличенный фрагмент вида сбоку, иллюстрирующий механизм охлаждения вала для литья в соответствии с конструкцией данного изобретения.

Фиг. 16 представляет собой увеличенный разрез вдоль линии А - А на фиг. 9.

Фиг. 17 представляет собой вид, аналогичный показанному на фиг. 16.

Фиг. 18 представляет собой схематичный чертеж, частично в перспективе, иллюстрирующий электрические токи, которые используются электромагнитном ограничивающем средстве, показанном на фиг. 9-11.

Фиг. 19 представляет собой увеличенный фрагмент разреза, аналогичный фиг. 5, где показано направление токов в электромагнитном ограничивающем средстве и индуцированных вихревых токов в других частях устройства для литья узкой полосы металла и в массе расплавленного металла.

Фиг. 20 представляет собой увеличенный фрагмент разреза, аналогичный изображенному на фиг. 6 и 12, где показано формирование магнитного поля следующей конструкцией устройства для литья узкой полосы металла, включающего электромагнитное ограничивающее средство в соответствии с данным изобретением.

Фиг. 21 представляет собой увеличенный разрез, аналогичный изображенному на фиг. 16 и 17, где показана вариация конструкции, приведенной на фиг. 16 и 17.

Фиг. 22 представляет собой увеличенный фрагмент разреза, где показаны дополнительные детали конструкции, приведенной на фиг. 8.

Фиг. 23 представляет собой увеличенный фрагмент разреза вариации конструкции, показанной на фиг. 20.

При первоначальном рассмотрении фиг. 1, 2 и 3, следует учесть, что под цифрой 1 указано устройство для литья узкой полосы металла, включающее в себя пару раздвинутых по горизонтالي, противоположно вращающихся валов для литья 2, 3, имеющих соответственно оси вращения 4 и 5. Валы 2, 3 имеют вертикально ориентированный зазор 6 между валами для удержания массы 7 расплавленного металла, обычно представляющего собой сталь. Каждый из валов для литья 2, 3 имеет одинаковый радиус, а объем массы расплавленного металла 7 имеет проектную максимальную высоту (глубину), которая обычно составляет большую долю, (например, больше 1/2 радиуса валов 2, 3). Валы 2, 3 вращаются соответственно в направлениях, показанных стрелками 8, 9 на фиг. 1. Валы для литья 2, 3 охлаждаются стандартным способом (не показано) и, в свою очередь, охлаждают расплавленный металл, который затвердевает после прохождения зажима 10 между валами 2, 3, представляя собой на выходе из зажима 10 сплошную узкую металлическую полосу, обычно из стали.

Зазор 6 имеет открытый участок 11 (фиг. 3) и расположен так, что вблизи открытого участка 11 находится электромагнитное ограничивающее средство 12 для предотвращения выделения массы расплавленного металла 7 через открытый участок 11 зазора 6.

Одна из конструкций электромагнитного ограничивающего средства 12 приведена на фиг. 4-5.

Средство 12 включает в себя вертикально расположенную ограничивающую катушку, содержащую первую часть катушки 13, с фронтальной поверхностью 14, обращенной к открытому участку 11 зазора 6 вблизи него (фиг. 5). Фронтальная поверхность катушки 14 сужается дугообразно по направлению вниз, соответствуя дугообразному сужению конфигурации открытого участка 11 зазора 6. Первая часть катушки 13 оканчивается внизу контактной частью катушки 15, которая осуществляет электрический контакт первой части 13 катушки со второй частью 16 катушки. Вся ограничивающая катушка сделана из электропроводного немагнитного материала, такого как медь.

Магнитный элемент 17 сделан из стандартного магнитного материала и охватывает нижнюю зону первой части катушки 13, за исключением фронтальной поверхности 14. Магнитный элемент 17 включает в себя средство для существенного ограничения изменяющегося во времени электрического тока в первой части катушки 13, вдоль ее поверхностей, отличных от фронтальной поверхности 14, на вертикальных уровнях первой части катушки 13, охваченных магнитным элементом 17. Магнитный элемент также обеспечивает обратную линию низкого сопротивления для магнитного поля, генерируемого ограничивающей катушкой. При более подробном рассмотрении фиг. 6 видно, что протекание переменного во времени электрического тока через ограничивающую катушку генерирует горизонтальное магнитное поле, изображенное линиями 18 на фиг. 6. Это магнитное

поле распространяется от фронтальной поверхности катушки 14 через открытый участок 11 зазора 6 и оказывает магнитное ограничивающее давление на массу расплавленного металла 7 у открытого участка 11 зазора 6.

В дополнение к катушке 19-16 средство 12 включает в себя экран катушки 20 (фиг. 4-5), сделанный из немагнитного электропроводного материала, например, меди. Экран 20 катушки в основном охватывает магнитный элемент 17 и включает средство для ограничения той части магнитного поля, которая находится вне обратной линии низкого сопротивления, определенной магнитным элементом 17, на некотором расстоянии вблизи открытого участка 11 зазора 6.

При управлении переменный во времени электрический ток входит в вершину 19 первой части катушки 13 посредством электрической шины (не показана), далее течет вниз вдоль фронтальной поверхности 14 к нижней контактной части 15, затем через контактную часть 15 - к второй части катушки 16, через которую течет вверх по направлению к электрической шине (не показана), которая осуществляет электрический контакт второй части катушки 16 с источником тока (например, трансформатором, не показано на фиг. 4). Тонкие пленки (не показаны) электрической изоляции предназначены для изоляции магнитного элемента 17 от части 13 катушки и для изоляции экрана катушки 20 от магнитного элемента 17. Части катушки 19-15 и 16 и экран катушки 20 снабжены каналами охлаждения (большинство не показано), где циркулирует охлаждающая жидкость, стандартный способ, доступный специалистам.

Электромагнитное ограничивающее средство приведено на фиг. 4, а его действие описано более детально в вышеупомянутом Gerber, et al. U.S. Patent N 5197534, ранее приведенном в общей ссылке.

На фиг. 5-8 на каждом краю обоих валов для литья 2, 3 показаны соответствующие периферийные выступы валов 21, 22 с краевыми поверхностями 23, 24 соответственно, обращенными лицевой стороной к фронтальной поверхности 14 ограничивающей катушки, вблизи нее. Магнитное поле, генерируемое катушкой 19 - 16, показано магнитными линиями 18 на фиг. 6. Каждый периферийный выступ вала 21, 22 сделан из материала, имеющего магнитную проницаемость немного больше, чем у меди, например, такой материал, как аустенитная нержавеющая сталь, которая немагнитна. Электропроводность каждого выступа вала близка к электропроводности расплавленной стали и меньше, чем меди. Магнитный элемент 17, без сомнения, имеет проницаемость существенно больше, чем у меди.

Использование периферийных выступов валов 21, 22, сделанных из материалов, описанных выше, увеличивает коэффициент сцепления (k) между ограничивающей катушкой и расплавленным металлом, что, в свою очередь, приводит к увеличению магнитного давления отталкивания, оказывающего воздействие на массу расплавленного металла 7 у открытого участка 11 зазора 6, по сравнению с аналогичной конст-

рукцией без таких периферийных выступов. Более конкретно, магнитное давление отталкивания ( $P_m$ ) может быть выражено следующим образом:

$$P_m = kB^2/4\mu_0,$$

где  $B$  - максимальное значение плотности магнитного потока, и

$\mu$  - магнитная проницаемость вакуума.

Коэффициент сцепления ( $k$ ) может быть выражен следующим образом:

$$k = 1 - (\delta/w), \text{ для } \delta < w,$$

где  $\delta$  - глубина поверхностного слоя расплавленного металла, и

$w$  - эффективный поперечный размер объема расплавленного металла (характерный размер).

Поверхностный слой представляет собой слой, на который проникает магнитное поле в данный материал, и о нем более полно пойдет речь ниже. Периферийный выступ вала сделан из материала описанных выше функций для обеспечения максимального поперечного размера объема расплавленного металла, для увеличения коэффициента сцепления ( $k$ ). (Ранее приведенное уравнение применимо в том случае, если характерный поперечный размер объема массы расплавленного металла ( $w$ ) больше, чем глубина поверхностного слоя ( $\delta$ ), данная ситуация наиболее типична в реальности при использовании периферийных выступов вала).

Каждый периферийный выступ вала 21, 22 выступает наружу от соответствующего вала для литья 2, 3 в осевом направлении по направлению к фронтальной поверхности 14 ограничивающей катушки.

В конструкции, показанной на фиг. 5-6 магнитный элемент выполнен в виде пары раздвинутых выступов (зубцов) 25, 26, при этом каждый из них расположен на соответствующей из противоположных боковых сторон фронтальной поверхности 14 ограничивающей катушки и каждый выступает наружу за фронтальную поверхность 14 по направлению к соответствующему краю 27, 28 соответствующего вала для литья 3, 2. Каждый зубец магнитного элемента 25, 26 имеет граничную поверхность 29, 30 вблизи края 28, 27 соответствующего вала для литья. Зубцы 25, 26 расположены вдоль соответствующей боковой стороны периферийного выступа вала 22, 21, которые, в свою очередь, расположены между зубцами магнитного элемента 25, 26.

Экран катушки 20 включает в себя пару раздвинутых зубцов 31-32 (фиг. 5), при этом каждый расположен вдоль боковой стороны соответствующих зубцов 26, 25 магнитного элемента 17 и обычно одного с ними размера. На соответствующем краю 28, 27 каждый из валов для литья 2, 3 имеет соответствующий краевой экран вала 33, 34. Каждый краевой экран вала расположен радиально внутрь периферийного выступа вала 21, 22 на соответствующем валу

2, 3 и каждый краевой экран вала 33, 34 покрывает соответствующий край вала 27, 28. Краевые экраны валов 33, 34 имеют более высокую электропроводность, чем периферийные выступы валов 21, 22 и имеют магнитную проницаемость, равную магнитной проницаемости вакуума; краевые экраны валов обычно сделаны из меди.

Далее рассматривается фиг. 6, где штриховые линии не показаны для ясности. Каждый краевой экран вала 33, 34 включает в себя средство для существенного ограничения магнитного потока в окрестности граничных поверхностей 29, 30 на зубцах 25, 26 магнитного элемента 17 и для воздействия на магнитное поле 18 с целью распространения потока магнитного поля по контуру, описанному в следующем предложении. Этот контур потока простирается между зубцами магнитного элемента 25, 26 поперек периферийных выступов валов 22, 21 и поперек зазора 6 вблизи его открытого участка 11. Другими словами, каждый периферийный выступ вала 21, 22 определяет часть контура, по которому распространяется магнитное поле 18. Аналогично, зубцы 25, 26 магнитного элемента определяют другую часть контура, по которому распространяется магнитное поле. В устройстве отсутствует какой-либо экран магнитного поля между фронтальной поверхностью 14 ограничивающей катушки и открытым участком 11 зазора 6, изолированный и отделенный от фронтальной поверхности 14 ограничивающей катушки. Эта поверхность, сделанная, например, из меди, действует в качестве экрана магнитного поля и помогает ограничивать магнитное поле в пространстве, показанном на фиг. 6. Как отмечено выше, периферийные выступы валов 21, 22 могут быть сделаны из немагнитного электропроводного материала, такого, как аустенитная нержавеющая сталь. Предпочтительно, чтобы все периферийные поверхности 35, 36 валов для литья 2, 3 были сделаны из материала с той же самой электропроводностью, что и периферийные выступы валов 21, 22.

Та часть периферийного выступа вала 21, 22, которая выступает наружу за край экрана валов 33, 34, представляет собой часть периферийного выступа вала, которая подвергается в значительной степени воздействию магнитного поля; то есть существует экспонированная длина выступа. Экспонированная длина периферийного выступа вала должна быть больше, чем примерно восемьдесят процентов от поверхностного слоя ( $\delta$ ) массы расплавленного металла. Если экспонированная длина периферийного выступа существенно меньше, упомянутой в предыдущем предложении, то могут возникнуть трудности в удержании массы расплавленного металла 7 у открытого участка 11 зазора 6. Делая экспонированную длину больше упомянутой величины, можно достичь существенного улучшения в удержании, но одновременно увеличатся потери магнитного поля в выступе, что нежелательно. Рассмотрение факторов, влияющих на выбор длины, также определяет максимальную длину выступа. Чем длиннее экспонированная часть выступа, тем больше механи-

ческий момент на соединение между выступом и основным телом вала для литья. При увеличении длины выступа увеличивается количество теплоты, которой подвергается выступ, чего следует избегать. Меньшая длина может быть допустима при увеличении частоты используемого переменного во времени тока.

Что касается толщины периферийного выступа вала, то обычно, чем меньше толщина выступа, тем лучше, по мере удаления от точки удержания. Минимальная толщина выступа обычно определяется изучением факторов, влияющих на выбор длины. Толщина выступа, меньшая двух глубин поверхностного слоя материала выступа (например, аустенитной нержавеющей стали), была бы удовлетворительна для большинства режимов. Предпочтительно, чтобы толщина периферийного выступа вала была менее одной глубины поверхностного слоя (например, 0, 5 - 0, 8 от глубины поверхностного слоя).

Глубина поверхностного слоя материала может быть выражена следующей формулой:

$$\delta' = \sqrt{2 / \omega \mu \sigma},$$

где  $\delta'$  - представляет собой глубину поверхностного слоя материала, из которого сделан периферийный выступ вала;

$\omega$  равно  $2\pi f$ ;

$f$  - частота используемого переменного во времени электрического тока;

$\mu$  - магнитная проницаемость вышеупомянутого материала;

$\sigma$  - электропроводность вышеупомянутого материала.

Предполагая, что периферийный выступ вала сделан из 304 нержавеющей стали, а рабочая частота равна 3000 Гц, можно получить, что глубина поверхностного слоя равна 0,79 см, а типичная толщина выступа может быть около 0,95 см ( $1,2\delta'$ ).

В конструкции, показанной на фиг. 5, зубцы 25, 26 магнитного элемента 17 физически изолированы от массы расплавленного металла 7 посредством периферийных выступов вала 22, 21 и одновременно защищены комбинацией средств, которые осуществляют магнитную защиту для предотвращения выдавливания массы расплавленного металла 7 через открытый участок 11 зазора 6.

В качестве альтернативы зубцам 25, 26 на магнитном элементе 17 можно установить пару секций, физически не связанных с магнитным элементом 17. Каждая из этой пары секций сделана из материала, имеющего электропроводность меньшую, чем у меди, и каждая расположена вдоль боковой стороны соответствующего периферийного выступа вала 22, 21, и каждая изолирована и отделена от магнитного элемента 17 и находится на некотором расстоянии от него. Две различных конструкции таких секций представлены на фиг. 8 под цифрами 37 и 38, соответственно. Каждая секция 37, 38 включает в себя следующее:

- соответствующую фронтальную часть 39, 40, обращенную лицевой стороной к средству 12;

- соответствующую первую боковую поверхность 41, 42, обращенную лицевой стороной, по крайней мере на большей части своей длины, к соответствующему периферийному выступу вала 21, 22;

- соответствующую вторую боковую поверхность 43, 44 на некотором расстоянии радиально внутрь от первой боковой поверхности 41, 42;

- соответствующую заднюю поверхность 45, 46 вблизи края 28, 27 валов для литья 2, 3 соответственно.

В случае второй боковой поверхности 44 на секции 38 эта боковая поверхность представляет собой продолжение фронтальной части 40, при этом секция 38 имеет сечение в виде треугольника. Секция 37 имеет сечение в виде прямоугольника.

Вторая боковая поверхность 44 треугольной секции 38 направлена под углом радиально внутрь от фронтальной части секции 40 к задней поверхности 46. Расстояние между боковыми поверхностями 42, 44 поперек секции 38 увеличивается по мере удаления от фронтальной поверхности 40 к задней поверхности 46 секции 38, в соответствии с треугольной формой сечения этой секции.

Каждая фронтальная часть 39, 40 каждой секции 37, 38 обращена лицевой стороной к магнитному элементу 17 и смыкается с соответствующей граничной поверхностью 23, 24 соответствующего периферийного выступа вала 21, 22.

Возвращаясь к описанию магнитного элемента 17 видно, что конструкция, показанная на фиг. 8, отличается от конструкции, показанной на фиг. 5 тем, что конструкция фиг. 5 имеет зубцы 25, 26, которые выступают за фронтальную поверхность 14 первой части ограничивающей катушки 13, в конструкции (фиг. 8) нет зубцов 25, 26 на магнитном элементе 17. Вместо этого в конструкции (фиг. 8), магнитный элемент имеет пару граничных поверхностей 29, 30, которые смыкаются с фронтальной поверхностью 14 первой части 13 ограничивающей катушки. В конструкции, показанной на фиг. 8, каждая граничная поверхность 30, 29 на магнитном элементе 17 обращена лицевой стороной к фронтальной поверхности 39, 40 соответствующей секции 37, 38.

Аналогичным образом экран катушки 20 в конструкции, показанной на фиг. 8, отличается от экрана катушки конструкции фиг. 5 тем, что на фиг. 5 конструкция включает в себя зубцы 31, 32 экрана катушки, расположенные вдоль боковых сторон зубцов 25, 26 магнитного элемента 17, в конструкции, показанной на фиг. 8, экран катушки 20 не имеет таких зубцов. Вместо этого в конструкции, показанной на фиг. 8, экран катушки 20 имеет пару граничных поверхностей 47, 48, каждая из которых обращена лицевой стороной по направлению к краю 28, 27 соответствующего вала для литья 2, 3; каждая поверхность 47, 48 смыкается с соответствующей граничной поверхностью 30, 29 магнитного элемента 17.

Как упоминалось выше, каждый периферийный выступ вала 21, 22 может быть сделан

из немагнитного материала, такого, как аустенитная нержавеющая сталь; предпочтительно, чтобы тело каждого вала для литья было сделано из аустенитной нержавеющей стали. Каждая секция 37, 38 может быть сделана из немагнитного материала, подобно выступам 21, 22 или, напротив, может быть сделана из магнитного материала, аналогичного тому, который применялся при изготовлении магнитного элемента 17.

Аналогично конструкции, показанной на фиг. 5, конструкция на фиг. 8 включает в себя краевой экран вала 33, 34 на краю 28, 27 каждого вала для литья 2, 3. Каждый краевой экран вала 33, 34 расположен радиально внутрь от соответствующего периферийного выступа вала 21, 22 и по оси внутрь от соответствующей секции 37, 38. Каждый краевой экран вала 33, 34 обычно сделан из меди и имеет меньшую магнитную проницаемость и большую электропроводность, чем периферийный выступ вала 21, 22 и секции 37, 38. Каждый краевой экран вала 33, 34 существенно ограничивает распространение потока магнитного поля, созданного первой частью 13 ограничивающей катушки, областью поперек зазора 6 вблизи его открытого участка 11.

В конструкции, показанной на фиг. 8, каждый краевой экран вала имеет внутренние каналы 49, 50 соответственно, через которые может циркулировать охлаждающая жидкость, например вода, к секциям охлаждения 37, 38 и части выступов 21, 22. Это средство для охлаждения показано более детально на фиг. 22, с упоминанием канала 50. Краевой экран вала, содержащий канал охлаждения 50, фиксирован и вращается вместе с валом 3. Канал охлаждения 50 включает в себя входную часть 51, сообщающуюся с входным каналом 52 на стационарном фитинге или крышке 53, имеющем выходной канал 54, сообщающийся с выходной частью 55 канала 50. Наборы колец 56 - 58 обеспечивают изоляцию между стационарным фитингом 53 и вращающимся краевым экраном вала, содержащим канал охлаждения 50. Набор распорных стержней 59 - 61, установленных на внутренней стенке канала 62 между парой внешних стенок канала 63, 64, служит для обеспечения структурной целостности. Канал 50, его компоненты и фитинг 53 кольцеобразны и имеют ту же осевую линию 65, что и вал 3. Фитинг 53 имеет внешний край 66, покрытый концевой пластинкой (не показана) с входами для введения и вывода охлаждающей жидкости соответственно во входной и из выходного каналов фитинга 52, 54. В качестве альтернативы охлаждающая жидкость, использованная стандартным образом для вала 3, может быть направлена из вала в канал 50.

Контур потока магнитного поля, созданного конструкцией, показанной на фиг. 8, аналогичен контуру потока магнитного поля, созданного конструкцией, показанной на фиг. 6, за исключением того, что секции 37, 38 заменены магнитными зубцами 25, 26 магнитного элемента 17 для установления границ соответствующих секторов магнитного поля. Краевые экраны ва-

лов 33, 34 предотвращают утечку магнитного потока, входящего в секции 37, 38, через задние поверхности 45, 46 секций 37, 38 и направляют магнитный поток между секциями 37, 38 и периферийными выступами валов 21, 22, а не через первые боковые поверхности 41, 42.

Размеры выступов 21, 22 конструкции, показанной на фиг. 8, аналогичны размерам выступов 21, 22 конструкции, показанной на фиг. 5. В обеих конструкциях имеется небольшой промежуток между краевыми поверхностями 23, 24 выступов 21, 22 и фронтальной поверхностью 14 первой части 13 ограничивающей катушки. Назначение этого промежутка состоит в том, чтобы обеспечить механический просвет между фронтальной поверхностью 14 катушки и краевыми поверхностями 23, 24 выступов, при вращении выступов 21, 22 вместе с валами для литья. За исключением этого промежутка, краевые поверхности выступов 23, 24 могут быть по возможности приближены к фронтальной поверхности 14 в первой части 13 ограничивающей катушки примерно на расстояние 1,25 - 1,5 мм. Аналогичный промежуток имеется в конструкции, показанной на фиг. 5, между граничными поверхностями 29, 30 магнитного элемента 17 и лицевыми поверхностями 67, 68 краевых экранов валов 33, 34, а также между граничными поверхностями 47, 48 экрана катушки 20 и лицевыми поверхностями 67, 68 краевых экранов валов 33, 34.

В конструкции, показанной на фиг. 8, промежуток между фронтальной поверхностью 39 секции 37 и граничной поверхностью 30 магнитного элемента 17 аналогичен промежутку между фронтальной поверхностью ограничивающей катушки 14 и краевыми поверхностями 23, 24 периферийных выступов.

В случае секции 38, однако, расстояние между ее второй боковой поверхностью 44 и ближайшим краем (граничной поверхностью) 29 магнитного элемента 17 увеличивается, так как эта боковая поверхность удаляется от фронтальной поверхности 40 секции 38 по мере приближения к задней поверхности 46. В конструкции, показанной на фиг. 8, промежуток между второй боковой поверхностью 44 секции 38 и краем (граничной поверхностью) 29 магнитного элемента 17 находится в воздухе, который имеет магнитную проницаемость как у меди, но нулевую электропроводность. Этот промежуток не следует заполнять материалом с высокой электропроводностью. Таким образом, этот промежуток может быть заполнен магнитным материалом, аналогичным материалу, используемому в магнитном элементе 17, или заполнен немагнитным материалом, таким, как аустенитная нержавеющая сталь, но этот промежуток не может быть заполнен таким материалом как медь, имеющая высокую электропроводность.

Контур потока магнитного поля в конструкции, показанной на фиг. 8, проходит через: магнитный элемент 17; промежуток между элементом 17 и каждой из секций 37, 38; промежуток между фронтальной поверхностью 14 ограничивающей катушки 13 и краевыми поверхностями 23, 24 выступов 21, 22; те части выступов 21, 22,

которые выступают вдоль оси наружу за краевые экраны валов 33, 34; и ту часть расплавленного металла в зазоре 6, которая расположена между периферийными выступами валов 21, 22, внутрь по оси открытого участка 11 зазора 6. Важно, чтобы контур потока, определенный в предыдущем предложении, проходил через элементы, выполненные из материала, имеющего электропроводность меньше, чем у меди. Таким образом, контур потока может проходить через: магнитный материал магнитного элемента 17; воздушные промежутки, обозначенные выше; аустенитную нержавеющую сталь, из которой сделаны периферийные выступы валов 21, 22; и аустенитную нержавеющую сталь или магнитный материал, из которого сделаны секции 37, 38. В контуре потока магнитного поля отсутствует любой, материал, подобный меди, имеющей высокую электропроводность. Ни секции 37, 38, ни периферийные выступы валов 21, 22, ни любая их часть не сделаны из меди или подобного ей материала.

Как упоминалось выше, в конструкции, показанной на фиг. 8, отсутствует взаимное пересечение зубцов с магнитным элементом и краями валов для литья. Это устраняет проблему возможного механического контакта, возникающую при вращении валов для литья, для зубцов, введенных в конструкции, показанной на фиг. 5. В конструкции, показанной на фиг. 14, также отсутствует эта проблема.

При рассмотрении фиг. 2 и 4 видно, что ширина фронтальной поверхности 14 первой части 13 ограничивающей катушки дугообразно сужается по направлению вниз к нижней части 69 и следует контуру зазора 6 у открытого участка 11. На всех вертикальных уровнях катушки ширина фронтальной поверхности 14 первой части 13 катушки должна быть не меньше, чем суммарная ширина краевой поверхности 23 на выступе 21, открытого участка 11 зазора 6 и краевой поверхности 24 выступа 22 (смотрите, например, фиг. 5 и 8).

Обычно ширина зазора 6 составляет 0,1 - 1,0 см у зажима между валами и ширина зазора увеличивается по мере увеличения высоты массы расплавленного металла. Ширина краевых поверхностей 23, 24 на периферийных выступах валов 21, 22 должна быть той же самой, что и толщина периферийных выступов валов, и об этом шла речь выше более детально.

Периферийные выступы валов 21, 22 испытывают нагревание в процессе литья. Тепло имеет два источника: тепло от расплавленного металла, удерживаемого между выступами; и индукционный нагрев, обусловленный переменным во времени магнитным полем, которое распространяется через выступы. Возникновение этого нагрева осуществляется за счет потерь тепла от выступа к другим частям вала для литья. Поскольку каждый выступ вращается со своим валом для литья 2, 3, и поскольку только малая доля круговой периферийной поверхности вала для литья находится в контакте с массой расплавленного металла 7 одновременно, то только небольшая часть окружности подвержена нагреву в любой данный момент времени при

литье; эта часть называется углом отсечки для выступа. Максимум угла отсечки для выступа соответствует максимальному углу контакта между массой расплавленного металла 7 и валами для литья 2, 3. Максимальный угол отсечки составляет малую часть окружности, которую проходит выступ по мере вращения вала. Фактически максимальный угол отсечки соответствует, в основном, пределам одной из двух дуг, образованных двумя разветвлениями магнитного элемента 17, показанных в сечении на фиг. 7. Другими словами, максимальный угол отсечки соответствует, в основном, дугообразному сегменту, в котором точка на выступе подвергается действию магнитного поля, при вращении валов для литья вместе с выступами. Предполагая, что радиус вала для литья равен 60 см и глубина расплавленного металла равна 40 см, получится, что угол отсечки должен быть около 42°С.

Несмотря на относительную малость максимального угла отсечки, периферийные выступы 21, 22 испытывают существенное увеличение температуры при прохождении ими угла отсечки (например, перепад температуры в 100 - 120°С). Для сбалансирования этого увеличения температуры каждый периферийный выступ вала охлаждается сразу после того, как выступ проходит магнитное поле, генерированное ограничивающей катушкой, то есть сразу после угла отсечки.

Как показано на фиг. 7, это охлаждение может быть осуществлено при помощи пары дугообразных сегментов 70, каждый из которых расположен точно снизу устройства 12 и снабжен средством для направления охлаждающей жидкости к внутренней поверхности 71, 72 каждого выступа 21, 22 вдоль дугообразного сегмента этой поверхности. Каждая внутренняя поверхность 71, 72 выступов расположена радиально внутрь соответствующей периферийной поверхности вала для литья 35, 36.

Жидкостью для охлаждения может быть воздух, аргон или такая жидкость, как холодная вода, например. Температура жидкости охлаждения, скорость подачи жидкости охлаждения и другие соответствующие параметры, если они имеются, будут зависеть, по крайней мере частично, от увеличения температуры, которое испытывают периферийные выступы валов 21, 22 при движении в пределах угла отсечки. Эти параметры могут быть определены эмпирическим путем. Дугообразный сегмент, где вращающийся периферийный выступ вала подвергается охлаждению посредством средства для охлаждения 70, обычно существенно больше, чем вышеопределенный максимальный угол отсечки (максимальный дугообразный сегмент, где выступ подвергается нагреву), например, от 10 - 35% до нескольких порядков (например, от 4 до 5 раз).

Как ранее отмечалось, из фиг. 14 и 15 видно, что каждый вал для литья 2, 3 имеет соответствующий краевой экран вала 33, 34 вблизи соответствующего края вала 28, 27. Каждый краевой экран вала 33, 34 расположен радиально внутрь от ближайшего периферийного высту-

па вала 21, 22 и покрывает край 28, 27 соответствующего вала для литья 2, 3. В осевом направлении наружу от каждого краевого экрана вала 33, 34 выступает соответствующее продолжение экрана 73, 74. Каждый краевой экран вала 33, 34 и каждое продолжение экрана 73, 74 сделано из немагнитного электропроводного материала, имеющего относительно малую магнитную проницаемость по сравнению с магнитной проницаемостью материала периферийных выступов вала 21, 22 и секций, расположенных вдоль боковых сторон выступов валов. В конструкции, показанной на фиг. 14, каждая секция расположена вдоль боковой стороны периферийного выступа вала 21, 22 отдельно и изолировано от любого другого компонента устройства 1, и каждая имеет прямоугольное сечение и обозначена под цифрой 37 на фиг. 14.

Как и в других конструкциях, краевая поверхность 23, 24 каждого периферийного выступа вала 21, 22 выступает наружу от соответствующего вала для литья 2, 3, в осевом направлении за соответствующий край вала 28, 27. Каждый краевой экран вала 33, 34 и его соответствующее продолжение 73, 74 включает в себя средство для ограничения области распространения магнитного поля, генерированного ограничивающей катушкой, контуром потока поперек зазора 6 вблизи открытого участка 11.

Каждый периферийный выступ вала 21, 22 и соответствующее продолжение краевого экрана вала 73, 74 определяет между собой кольцевое пространство 75, 76 соответственно. Каждая секция 37 расположена вдоль боковой стороны периферийного выступа вала 21, 22 и включает в себя кольцеобразный элемент, расположенный в соответствующем кольцевом пространстве 75, 76.

Как упоминалось ранее, каждая ветвь магнитного элемента 17 имеет край или граничную поверхность 29, 30 соответственно; каждая такая граничная поверхность обращена лицевой стороной к одному из кольцеобразных элементов 37. Каждая граничная поверхность 29, 30 магнитного элемента 17 расположена вдоль сегмента дуги за круговой секцией 37, в то время, как вал для литья 2, 3 вращается. Этот сегмент показан заштрихованными линиями под цифрой 17 на фиг. 7 и соответствует, в основном, максимальному углу отсечки для периферийного выступа вала.

Каждое кольцевое пространство 75, 76, в основном, полностью заполнено кольцеобразным элементом 37. В некоторых конструкциях можно обеспечить зазор 77, 78 в кольцевом пространстве 75, 76 соответственно. Зазор 77 или 78 расположен между периферийным выступом вала 21, 22 и первой боковой поверхностью 41 ближайшего кольцеобразного элемента 37. Зазоры 77, 78 включают в себя средство для поступления, струи охлаждающего газа для охлаждения ближайшего периферийного выступа вала 21, 22 при его движении в пределах угла отсечки.

Фиг. 15 представляет собой иллюстрацию средства 79 для направления струи охлаждающего газа в зазор 78. Охлаждающим газом может быть воздух, или может быть инертный газ, такой как аргон, например.

Краевые экраны валов 33, 34 и их соответствующие продолжения 73, 74 предпочтительнее делать из меди и использовать водное охлаждение (не показано). Периферийные выступы валов 21, 22 предпочтительнее делать из аустенитной нержавеющей стали. Кольцеобразную секцию 37 можно сделать из того же материала, что и магнитный элемент 17, или они могут быть сделаны из немагнитного материала нержавеющей стали, аналогичной той, которая использовалась для периферийных выступов валов 21, 22.

На фиг. 12 приведена другая конструкция в соответствии с данным изобретением, аналогичная, в некоторых аспектах, конструкции, изображенной на фиг. 14, но без кольцеобразных секций 37, в основном заполняющих кольцевое пространство 75, 76. В конструкции, показанной на фиг. 12, кольцевое пространство, такое, как 76, в основном, заполнено парой зубцов, при этом один представляет собой выступ магнитного элемента 17, а другой - выступ экрана катушки 20. Более конкретно можно сказать, что каждый выступ магнитного элемента 17 выполнен в виде зубца, например, 25, и каждый выступ экрана катушки 20 выполнен в виде зубца, например, 32; каждый такой зубец 25, 32 выступает за фронтальную поверхность ограничивающей катушки и входит в кольцевое пространство 76, находящееся между периферийным выступом вала 22 и продолжением ближайшего краевого экрана вала 34.

В этой конструкции (фиг. 12) зубец 25 магнитного элемента 17 заменяет и выполняет функцию кольцеобразного элемента 37, на фиг. 14, например, зубец создает часть контура потока магнитного поля, которое распространяется от магнитного элемента 17 через периферийный выступ вала 22. Магнитное поле, генерируемое конструкцией, показанной на фиг. 12, обозначено магнитными силовыми линиями 80. (Штриховые линии убраны на фиг. 12 для ясности). Фактически, зубец 25 магнитного элемента 17 предполагает, что дугообразный сегмент кольцеобразного элемента 37 в конструкции, показанной на фиг. 14, расположен вблизи массы расплавленного металла 7.

Зубец 25 на магнитном элементе 17 и зубец 32 на экране катушки 20 (фиг. 12), выступают за фронтальную поверхность ограничивающей катушки электромагнитного средства на три глубины поверхностного слоя металла 7. В этом случае соответствующая глубина поверхностного слоя ( $\delta$ ) выражается следующим образом:

$$\delta = \sqrt{2 / \omega \mu \sigma},$$

где  $\delta$  представляет собой глубину поверхностного слоя расплавленного металла;

$\omega$  равно  $2\pi f$ ;

$f$  - частота используемого переменного во времени электрического тока;

$\mu$  - магнитная проницаемость воздуха;

$\sigma$  - электропроводность расплавленного металла.

Как показано на фиг. 12, продолжение 74 краевого экрана вала 34 выступает наружу в осевом направлении дальше ближайшего периферийного выступа вала 22. Краевой экран вала 34, продолжение краевого экрана 74, экран катушки 20 и зубец экрана катушки 32 обычно сделаны из меди. Периферийный выступ вала 22 обычно сделан из немагнитной нержавеющей стали. Краевой экран вала 34 и его продолжение 74, в основном, предотвращает от прохождения потока магнитного поля вне области удержания расплавленного металла, сокращая тем самым утечки магнитного поля.

Периферийный выступ вала 22 в конструкции, показанной на фиг. 12, имеет толщину (размер в радиальном направлении) и экспонированную длину, подобные этим размерам периферийного выступа вала 22 в конструкции, показанной на фиг. 5, выше. Эти же самые параметры используются во всех конструкциях данного изобретения, имеющих периферийные выступы валов.

При рассмотрении фиг. 9-13 и 16-18 видно, что конструкции данного изобретения приведенные на этих рисунках, используют электромагнитное ограничивающее средство, включающее в себя многокомпонентную ограничивающую катушку.

Обозначенное в целом под цифрой 81 на фиг. 9 - 11 и 13, электромагнитное средство подобно электромагнитному средству, показанному на фиг. 1-4 под цифрой 12 для предотвращения выделения расплавленного металла через открытый участок 11 вертикально ориентированного зазора 6, расположенного между двумя раздвинутыми по горизонтали, вращающимися в противоположные стороны валами для литья 2, 3, где удерживается расплавленный металл 7. Средство 81 включает в себя ограничивающую катушку, имеющую первую часть 82 для расположения вблизи валов для литья 2, 3. Первая часть 82 ограничивающей катушки включает в себя первую вертикально ориентированную центральную проводящую долю 83, имеющую пару противоположных боковых сторон 84, 85 и пару клинообразных, вертикально ориентированных проводящих долей 86, 87, при этом каждая из них расположена вплотную к соответствующей боковой стороне 84, 85 первой центральной проводящей доли 83. Клинообразные проводящие доли 86, 87 электрически изолированы от первой центральной проводящей доли 83 посредством пленки изоляционного материала (не показана).

Вторая, относительно узкая, удлиненная, вертикально ориентированная центральная проводящая доля 88 расположена непосредственно за первой центральной проводящей долей 83 (фиг. 10 и 13). Вторая центральная проводящая доля 88 составляет долю первой части ограничивающей катушки 82 и включает в себя пару противоположных боковых сторон 89, 90 (фиг. 13), каждая из которых электропроводна и соприкасается с соответствующей клинообразной долей 86, 87. Первая центральная проводящая доля 83 имеет верхнюю часть 91 и нижнюю часть 92 (фиг. 10). Электрический контакт ниж-

них частей 92, 93 центральных проводящих долей 83, 88, соответственно осуществляется нижней проводящей долей 94, в основном горизонтально ориентированной.

Первая центральная проводящая доля 83 имеет относительно узкую фронтальную поверхность 95, расположенную между противоположными боковыми сторонами 84, 85 проводящей доли 83. Фронтальная поверхность 95 обращена лицевой стороной к открытому участку 11 зазора 6 и имеет нижнюю часть 96. Каждая клинообразная проводящая доля 86, 87 имеет соответствующую фронтальную поверхность 97, 98, сужающуюся от относительно широкой верхней части 99, 100 соответственно до относительно узкой нижней части 101, 102 соответственно. Фронтальные поверхности 97, 98 клинообразных проводящих долей 86, 87 обращены лицевой стороной к открытому участку 11 зазора 6. Фронтальные поверхности 95 - 98 проводящих долей 83 - 87 создают фронтальную поверхность 103 первой части 82 ограничивающей катушки. Фронтальная поверхность 103 имеет относительно широкую верхнюю часть 104 для размещения широкой верхней части 105 массы расплавленного металла 7 при его расположении на проектной максимальной высоте (см. фиг. 2). Широкая верхняя часть включает в себя в качестве составляющих широкие верхние части 99, 100 на фронтальных поверхностях 97, 98 клинообразных проводящих долей 86, 87 и фронтальную поверхность 95 первой центральной проводящей доли 83. Фронтальная поверхность 103 сужается по ширине от верхней части 104 до относительно узкой нижней части 106, для размещения зажима 10 между валами 2, 3 (фиг. 1) и узкой нижней части 107 массы расплавленного металла 7 (фиг. 2). Нижняя часть 106 фронтальной поверхности 103 соответствует, в основном, нижней части 96 фронтальной поверхности 95 первой центральной проводящей доли 83.

Контур для потока проходит через первую центральную проводящую долю 83, при этом первый переменный во времени ток имеет предварительно выбранную силу тока. Другие контуры для токов проходят через одну из клинообразных проводящих долей, например, 86, при этом второй переменный во времени ток изолирован и отличен от переменного во времени тока, который проходит через первую центральную проводящую долю 83. Далее, имеется контур для тока, проходящий через другую клинообразную проводящую долю 87, при этом третий переменный во времени ток изолирован и отличен от первого и второго переменных во времени токов, описанных в предыдущих двух предложениях. Второй и третий переменные во времени токи имеют предварительно выбранную силу тока, которая может отличаться от предварительно выбранной силы тока первого переменного во времени тока. Первая часть 82 ограничивающей катушки определена в этой конструкции проводящими долями 83 - 87. Электрический ток, проходящий через первую часть 82, генерирует горизонтальное магнитное поле, которое оказывает магнитное ограничи-



вающее давление на массу расплавленного металла 7 у открытого участка 11 зазора 6 (см. фиг. 12). Как показано на фиг. 13, каждая из проводящих долей 83, 86 и 87 имеет другие поверхности, в дополнение к их соответствующим фронтальным поверхностям 95 - 98. Средство 81 включает в себя магнитный элемент 108 для предотвращения утечки переменного во времени тока с фронтальных поверхностей 95-98, на спроектированных вертикальных уровнях проводящих долей 83, 86 и 87. Магнитный элемент 108 в основном охватывает первую часть ограничивающей катушки 82, то есть доли катушки 83, 86, 87 и 88, за исключением фронтальной поверхности 103. Магнитный элемент 108 определяет обратную линию низкого сопротивления для магнитного поля, генерированного ограничивающей катушкой (фиг. 12). Средство 81 также включает в себя экран катушки 109, сделанный из немагнитного электропроводного материала, например, меди. Экран катушки 109 охватывает магнитный элемент 108 и включает в себя средство для ограничения той части магнитного поля, которая находится вне обратной линии низкого сопротивления, обозначенной магнитным элементом 108, в области, прилегающей к открытому участку 11 зазора 6.

При рассмотрении фиг. 9-10, 13 и 16-17, видно, что первая центральная проводящая доля 83 имеет заднюю поверхность 110. Вторая центральная проводящая доля 88 имеет заднюю поверхность 111 и фронтальную поверхность 112. Каждая клинообразная проводящая доля 86, 87 имеет соответствующую внутреннюю боковую поверхность 113, 114, находящуюся в тесном контакте с соответствующей боковой стороной 84, 85 первой центральной проводящей доли 83 и с противоположными боковыми сторонами 89, 90 второй центральной проводящей доли 88. Каждая клинообразная проводящая доля 86, 87 имеет соответствующую дугообразную внешнюю поверхность 115, 116.

Кривизна дугообразной внешней поверхности 115, 116 соответствует радиусу валов для литья 2, 3, вместе с которыми используется электромагнитное средство 81. Каждая клинообразная доля 86, 87 также имеет соответствующую заднюю поверхность 117, 118.

Как показано на фиг. 13 и 16 - 17, магнитный элемент 108 включает в себя заднюю часть 119 (фиг. 13), составляющую одно целое с парой боковых частей 120, 121 и поперечной частью 122 (фиг. 16), проходящей между боковыми частями 120, 121 по направлению к задней части 119 магнитного элемента. Поперечная часть 122 расположена между первой и второй центральными проводящими долями 83 и 88. Задняя часть 119 магнитного элемента тесно примыкает к задней поверхности 111 второй центральной проводящей доли 88, к задней поверхности 117 клинообразной доли 86 и к задней поверхности 118 на клинообразной доле 87. Внешние поверхности магнитного элемента 115, 116 примыкают к клинообразным проводящим долям 86, 87 соответственно. Поперечная часть 122 магнитного элемента тесно примыкает к задней поверхности 110 первой центральной

проводящей доли 83 и к фронтальной поверхности 112 второй центральной проводящей доли 88.

В результате стыковки частей, описанной в предыдущем абзаце, различные части магнитного элемента служат для существенного ограничения переменных во времени токов в вышеупомянутых проводящих долях в окрестности фронтальной поверхности 95 первой центральной проводящей доли 83 и фронтальных поверхностей 97, 98 клинообразных проводящих долей 86, 87 соответственно. Поперечная часть 122 служит препятствием для прохождения тока вдоль лицевой стороны поверхностей первой и второй центральных проводящих долей 83, 88 и, конкретнее, задней поверхности 110-первой центральной проводящей доли 83 и фронтальной поверхности 112 второй центральной проводящей доли (фиг. 16 и 17).

Как отмечалось выше, магнитный элемент 108 электрически изолирован от первой части ограничивающей катушки посредством пленки электрически изоляционного материала. Аналогичная пленка электрически изоляционного материала может быть использована для изоляции магнитного элемента 108 от экрана катушки 109. Предпочтительно, однако, отсутствие изоляции между магнитным элементом 108 и экраном катушки 109; это создает лучшие условия для теплообмена при помощи теплопроводности между относительно горячим магнитным элементом 108 и более холодным экраном катушки 109 (который можно охлаждать жидкостью), и предотвращает перегрев магнитного элемента при управлении средством 81. В некоторой степени может существовать электрическое замыкание между экраном катушки 109 и магнитным элементом 108, такое короткое замыкание не представляет опасности для изоляционной пленки между магнитным элементом 108 и экраном катушки 109. Каждая внутренняя поверхность 113, 114 клинообразных проводящих долей 86, 87 находится в электрическом контакте с соответствующей боковой поверхностью 89, 90 второй центральной проводящей доли 88. Каждая дугообразная внешняя поверхность 115, 116 клинообразной проводящей доли 86, 87 соответственно сходится вниз по направлению к соответствующим внутренним поверхностям 113, 114 (фиг. 9). Задняя поверхность 117, 118 расположена между внутренней и внешней поверхностями каждой клинообразной проводящей доли 86, 87 соответственно (фиг. 13).

Вторая центральная проводящая доля 88 имеет нижнюю часть 93, ориентированную по вертикали по направлению вниз примерно на то же расстояние, что и нижняя часть 92 первой центральной проводящей доли 83 (фиг. 10). Фронтальная поверхность 96 нижней части 92 первой центральной проводящей доли (фиг. 9) обращена лицевой стороной к открытому участку 11 зазора 6 у зажима 10 между валами для литья 2, 3 (фиг. 1) и нижней части 107 массы расплавленного металла (фиг. 2). Каждая из нижних частей 101, 102 фронтальных поверхностей клинообразных проводящих долей 86, 87 расположена выше нижней части 96 фронталь-

ной поверхности первой центральной проводящей доли 83 (фиг. 9).

Первая часть 82 ограничивающей катушки имеет заднюю поверхность, обозначенную задними поверхностями 117, 118 клинообразных долей 86, 87 соответственно и задней поверхностью 111 второй центральной проводящей доли 88. Другие боковые поверхности 115, 116 клинообразных проводящих долей 86, 87 соответственно, определяют противоположащие боковые поверхности для первой части ограничивающей катушки 82. Эти противоположащие боковые поверхности простираются между вышеупомянутыми задней поверхностью первой части 82 и фронтальной поверхностью первой части ограничивающей катушки, обозначенной фронтальной поверхностью 95 первой центральной проводящей доли 83 и фронтальными поверхностями 97, 98 клинообразных проводящих долей 86, 87 соответственно. Задняя часть 119 и боковые части 120, 121 магнитного элемента 108 находятся в контакте с вышеупомянутой задней поверхностью и боковыми поверхностями первой части 82 ограничивающей катушки, тем самым ограничивая протекание переменного во времени электрического тока этими поверхностями.

Как упоминалось ранее, изолированно и раздельно текут переменные во времени электрические токи через первую центральную проводящую часть 83, клинообразную проводящую долю 86 и клинообразную проводящую долю 87. В соответствии с одной из конструкций данного изобретения, отдельные переменные во времени токи, текущие через любую из клинообразных проводящих долей 86, 87, имеют предварительно выбранную силу тока, которая меньше предварительно выбранной силы тока отдельного тока, текущего через первую центральную проводящую долю 83. Соответствующие контуры приведены на фиг. 9-11 и 18.

Средство 81 включает в себя три трансформатора, конструктивно связанные в нем в одно целое. Каждый трансформатор обеспечивает соответствующий переменный во времени ток для соответствующей одной из проводящих долей 83 - 87. Каждый трансформатор включает в себя соответственно первую катушку 123 - 125.

Более конкретно, первая катушка 123 представляет собой часть трансформатора для подачи переменного во времени тока к первой центральной проводящей доле 83; первая катушка 124 представляет собой часть трансформатора для подачи переменного во времени тока к клинообразной проводящей доле 86; и первая катушка 125 представляет собой часть трансформатора для подачи переменного во времени тока к клинообразной проводящей доле 87. С первыми катушками 123 - 125 связаны магнитные петлеобразные сердечники 126 - 128 соответственно. Каждый магнитный сердечник 126-128 имеет соответствующую первую часть 129 - 131, проходящую через соответствующую первую катушку 123 - 125.

Главная часть каждого трансформатора, описанного выше, установлена непосредственно сверху, немного сзади и в контакте с про-

водящей долей, питаемой током этого трансформатора, что существенно сокращает внешние энергетические потери по сравнению с трансформаторами, расположенными на некотором расстоянии и соединенными с электромагнитным ограничивающим средством 81 электрическими шинами. Более конкретно. Средство 81 включает в себя три U-образных кронштейна для крепления 132 - 134. Кронштейн для крепления 132 поддерживает части 123 и 126 трансформатора, связанного с первой центральной проводящей долей 83; кронштейн для крепления 133 поддерживает части трансформатора 124 и 127, связанного с клинообразной проводящей долей 86; и кронштейн для крепления 134 поддерживает части трансформатора 125 и 128, связанного с клинообразной проводящей долей 87. Кронштейн 132 установлен сверху и вблизи первой центральной проводящей доли 83. Кронштейн 133 установлен сверху и вблизи клинообразной проводящей доли 86; и кронштейн 134 установлен сверху и вблизи клинообразной проводящей доли 87. Конструктивные соединения для расположения кронштейнов 132 - 134 в позициях, приведенных на фиг. 9 -10 и описанных выше, стандартны и могут быть осуществлены любым специалистом.

Каждый из трех трансформаторов, описанных выше, включает в себя в качестве части второй катушки соответственно одну из проводящих долей 83 -87. Более конкретно, что касается трансформатора, чья первая катушка 123, то первая центральная проводящая доля 83 представляет собой часть второй катушки этого трансформатора. Для трансформатора с первичной катушкой 124 клинообразная проводящая доля 86 является частью второй катушки. Для трансформатора с первой катушкой 125 вторая катушка включает в себя клинообразную проводящую долю 87.

Другие компоненты, из которых сделаны три вторичных катушки, будут описаны более детально со ссылкой на фиг. 9 - 11 и 18.

Внизу электромагнитного ограничивающего средства 81 расположена нижняя проводящая доля 135, имеющая фронтальную часть 136 и заднюю часть 137. Нижняя проводящая доля 135 в основном горизонтально ориентирована. Фронтальная часть 136 нижней проводящей доли 135 электрически связана с нижними частями 92, 93 первой и второй центральных проводящих долей 83 и 88 посредством нижней проводящей доли 94, которая, как отмечалось ранее, осуществляет электрический контакт между нижними частями 92, 93 центральных проводящих долей 83, 88, соответственно. Задняя часть 137 нижней проводящей доли 135 электрически соединена с нижней частью 138 вертикально ориентированной задней проводящей доли 139, находящейся на некотором расстоянии сзади второй центральной проводящей доли 88.

Компоненты второй катушки, связанные с первой катушкой 123, в дополнение к первой центральной проводящей доле 83 включают в себя первую верхнюю проводящую долю 140, в основном ориентированную по горизонтали и включающую в себя заднюю часть, электричес-

ки соединенную через 141 с верхней частью 142 вертикально ориентированной задней проводящей доли 139. Первая верхняя проводящая доля 140 также включает в себя фронтальную часть 143, электрически соединенную через 141 с верхней частью 91 первой центральной проводящей доли 83.

Компоненты второй катушки, связанной с первой катушкой 124, включают в себя дополнительно к клинообразной проводящей доле 86 вторую верхнюю проводящую долю 144, имеющую в основном горизонтально ориентированную компоненту и включающую в себя заднюю часть 145, электрически соединенную с другой частью 146 задней проводящей доли 139, ниже соединения последней с задней частью 147 первой верхней проводящей доли 140. Вторая верхняя проводящая доля 144 также включает в себя фронтальную часть 148, электрически соединенную с верхней частью 149 клинообразной проводящей доли 86.

Компоненты второй катушки, связанной с первой катушкой 125, включают в себя, дополнительно к клинообразной проводящей доле 87, третью верхнюю проводящую долю 150, имеющую в основном горизонтальную ориентацию и содержащую заднюю часть 151, электрически соединенную с частью 146 задней проводящей доли 139. Третья верхняя проводящая доля 150 также включает в себя фронтальную часть 152, электрически соединенную с верхней частью 153 клинообразной проводящей доли 87.

Каждая верхняя доля 140, 144 и 150 проходит через соответствующий петлеобразный магнитный сердечник 129, 130 и 131.

Каждая клинообразная проводящая доля 86, 87 имеет соответствующую нижнюю часть 154, 155, расположенную на некотором расстоянии выше нижней проводящей доли 135. Верхняя часть 156 второй центральной проводящей доли 88 расположена на некотором расстоянии ниже верхних проводящих долей 140, 144, 150 (фиг. 10).

Клинообразные проводящие доли 86, 87 находятся в тесном электрическом контакте с второй центральной проводящей долей 88, которая расположена, большей частью, над всей длиной клинообразных проводящих долей 86, 87; но клинообразные проводящие доли 86, 87 электрически изолированы от первой центральной проводящей доли 83 посредством тонкой пленки изоляционного материала (не показана), по всей вертикальной длине клинообразных проводящих долей.

В результате вторая катушка, связанная с первой катушкой 123, включает в себя первую центральную проводящую долю 83, нижнюю проводящую долю 94, горизонтально ориентированную нижнюю проводящую долю 135, вертикально ориентированную заднюю проводящую долю 139 и горизонтально ориентированную первую верхнюю проводящую долю 140. Вторая катушка, связанная с первой катушкой 124, включает в себя клинообразную проводящую долю 86, нижнюю часть 93 второй центральной проводящей доли 88, нижнюю проводящую долю 94, горизонтально ориентированную нижнюю

проводящую долю 135, вертикально ориентированную заднюю проводящую долю 139 и горизонтально ориентированную вторую верхнюю проводящую долю 144. Вторая катушка, связанная с первой катушкой 125, включает в себя клинообразную проводящую долю 87, нижнюю часть 93 второй центральной проводящей доли 88, нижнюю проводящую долю 94, горизонтально ориентированную проводящую долю 135, вертикально ориентированную заднюю проводящую долю 139 и горизонтально ориентированную третью верхнюю проводящую долю 150.

На фиг. 18 показан источник 157 переменного во времени тока, который соединен с первой катушкой трансформатора 123 проводами 158 и 159. Источник тока 157 соединен с первой катушкой трансформатора 124 проводами 160, 161 и 162. Источник тока 157 соединен с первой катушкой трансформатора 125 проводами 160 и 161, 163. Все первые катушки 123 - 125 соединены параллельно, так что токи, которые протекают через каждую из этих первых катушек, находятся в фазе один с другим.

Как отмечалось ранее, ток, текущий через фронтальную поверхность 95 первой центральной проводящей доли 83, может быть значительно больше тока, текущего вдоль соответствующей фронтальной поверхности 97, 98 клинообразной проводящей доли 86, 87. Например, в одной конструкции ток, текущий вдоль фронтальной поверхности 95 первой центральной проводящей доли 83, около 10000 А; в то время как ток, текущий вдоль любой из фронтальных поверхностей 97, 98 клинообразных проводящих долей 86, 87, - около 5000 А, каждый. Таким образом, общий ток, текущий вдоль фронтальной поверхности 103 первой части 82 ограничивающей катушки (фронтальная поверхность состоит из всех фронтальных поверхностей 95-98 долей катушки 83 - 87), составляет 20000 А.

Как показано на фиг. 2, этот общий ток будет создавать достаточную плотность магнитного потока и достаточное магнитное давление для удержания массы расплавленного металла 7 в его широкой верхней части 105, когда масса расплава 7 имеет стандартную проектную максимальную высоту (глубину). Например, предполагая радиус вала для литья равным 60 см и стандартную глубину массы расплава в 40 см, получится, что верхняя часть 105 массы расплава должна быть 31 см шириной.

Предполагая те же самые размеры массы расплава и силы токов, что и в предыдущем абзаце, можно получить, что ток, текущий через нижнюю часть 96 фронтальной поверхности 95 первой центральной проводящей доли 83, равен только 10000 А. Этого количества тока обычно достаточно для создания плотности магнитного потока и магнитного давления, необходимых для удержания узкой нижней части 107 массы расплавленного металла 7, расположенной у зажима 10 между валами для литья 2, 3, где масса расплава обычно имеет ширину около 0,1 - 1,0 см. При этих условиях плотность магнитного потока и магнитное давление, оказываемое первой частью 82 ограничивающей катушки у за-

жима 10, не так высоки, чтобы вызвать нежелательную турбулентность в расплавленном металле вблизи зажима.

Общий ток, текущий через нижнюю проводящую долю 135 электромагнитного ограничивающего средства 81, равен сумме токов, текущих через центральную проводящую долю 83 и две клинообразные проводящие доли 86, 87 вместе взятые. Тот же самый общий ток течет вверх через заднюю проводящую долю 139 на вертикальный уровень второй и третьей верхних проводящих долей 148 и 150. Выше этого вертикального уровня ток, текущий через заднюю проводящую долю 139, равен току, текущему через первую центральную проводящую долю 83.

Каждая клинообразная проводящая доля 86, 87 питается током отдельно и каждая находится при одном и том же электрическом потенциале. В результате каждая проводящая доля 86, 87 проводит, в основном, независимо одна от другой.

Соответствующие способы, в дополнение к описанным выше, могут быть использованы для сокращения плотности магнитного потока и магнитного давления, генерированных в нижней части 92 центральной проводящей доли 83, тем самым уменьшая турбулентность, созданную вблизи верхней части 105 массы расплавленного металла 7. Примеры таких способов описаны в следующих четырех абзацах.

На фиг. 16 показано горизонтальное поперечное сечение соответствующих частей электромагнитного ограничивающего средства 81 в месте, обращенном лицевой стороной к зажиму 10, или немного выше. На фиг. 16 показан первый воздушный зазор 164 в задней части 119 магнитного элемента, части, которая обычно находится в тесном контакте с задними поверхностями первой части 82 ограничивающей катушки; эти задние поверхности включают в себя: задние поверхности 117, 118 клинообразных проводящих долей 86, 87 соответственно; и заднюю поверхность 111 второй центральной проводящей доли 88 (фиг. 13). Наличие воздушного зазора 164 уменьшает ток, текущий вдоль фронтальной поверхности 95 первой центральной проводящей доли 83 у нижней части 96 фронтальной поверхности 95 (фиг. 9).

Можно получить дальнейшее уменьшение тока вдоль фронтальной поверхности 95 первой центральной проводящей доли 83, в нижней части 96 фронтальной поверхности 95 использованием второго воздушного зазора 165 в пространстве, обычно заполненном поперечной частью магнитного элемента 122 (сравните фиг. 16 и 17). Уменьшение тока, текущего вдоль фронтальной поверхности 95 в ее нижней части 96, вызывает уменьшение плотности магнитного потока и магнитного давления, генерированного там, что соответственно уменьшает турбулентность, созданную в ближней верхней части 105 массы расплавленного металла 7 (фиг. 2).

Другими словами, использование воздушного зазора 164 или обоих воздушных зазоров 164 и 165 уменьшает магнитное ограничивающее давление, создаваемое нижней частью 92

первой центральной проводящей доли 83, по сравнению с магнитным ограничивающим давлением, созданным первой центральной проводящей долей 83, в месте выше части 92 первой центральной проводящей доли 83. Здесь использовано то, что нижняя часть 92 первой центральной проводящей доли 83 включает в себя часть проводящей доли 83, противолежащую зажиму 10 между валами для литья 2, 3, и часть первой центральной проводящей доли 83 немного выше.

В другой конструкции в соответствии с данным изобретением первый воздушный зазор 164 является одним из многих аналогичных воздушных зазоров в задней части 119 магнитного элемента, при этом воздушные зазоры расположены по вертикали через некоторые промежутки на магнитном элементе 108. Каждый воздушный зазор выше первого воздушного зазора 164 уменьшает ток, текущий вдоль каждой фронтальной поверхности 95, 97, 98 соответствующей проводящей доли 83, 86, 87 на том же самом уровне по вертикали, что и соответствующий воздушный зазор, тем самым сокращая количество тепла, генерированного на этой фронтальной поверхности на этом уровне. В следующей конструкции данного изобретения аналогичное множество раздвинутых по вертикали воздушных зазоров 165 может быть использовано вместе с множеством воздушных зазоров 164 для дальнейшего уменьшения тока, текущего вдоль каждой фронтальной поверхности проводящей доли на тех же самых уровнях, что и воздушный зазор, тем самым еще более уменьшая генерированное здесь тепло.

На фиг. 21 показана дальнейшая модификация в соответствии с данным изобретением, при этом воздушный зазор 164 заменен воздушными зазорами 166 и 167, расположенными в пространстве, обычно заполненном задними долями боковых частей 120, 121 магнитного элемента 108. Пространство, заполненное зазором 164 в конструкциях на фиг. 16 и 17, занято задней частью 119 магнитного элемента в конструкции на фиг. 21. Воздушные зазоры 166 и 167 выполняют функцию, аналогичную той, которую выполняет воздушный зазор 164.

Как отмечалось выше, ток для средства 81 подается через три трансформатора, которые отделены друг от друга, и течет в виде трех отдельных потоков через три отдельных проводящих доли 83, 86 и 87. В результате этого энергетические потери при управлении средством 81 существенно ниже, чем, если бы один такой же ток (например, 20000 А) протекал бы через одну проводящую долю и поступал бы от одного трансформатора. Наиболее узкая нижняя часть 106 фронтальной поверхности 103 фронтальной поверхности ограничивающей катушки соответствует нижней части 96 фронтальной поверхности 95 первой центральной проводящей доли 83. Ток, текущий через нижнюю часть фронтальной поверхности 106, существенно меньше, чем общий ток, текущий через фронтальную поверхность 103 первой части ограничивающей катушки 82, соответствующую фронтальным поверхностям 95 - 98 на проводящих долях 83 - 87.

Например, через нижнюю часть фронтальной поверхности 106 должно протекать 10000 А в отличие от 20000 А, текущих через фронтальную поверхность 103 первой части ограничивающей катушки 82. В результате существует значительно меньший перегрев нижней части фронтальной поверхности 106, чем если бы был один трансформатор и один ток. В последнем случае ток, текущий через нижнюю часть фронтальной поверхности 106 был бы примерно равен общему току, текущему через фронтальную поверхность 103 первой части ограничивающей катушки 82, и нижняя часть фронтальной поверхности 106 должна перегреваться.

Первая и вторая центральные проводящие доли 83, 88 и нижняя проводящая доля 94 представляют собой полые прямоугольные трубки, через которые может циркулировать охлаждающая жидкость (например, вода), и в них использованы стандартные входные и выходные патрубки (не показаны). Клинообразные проводящие доли 86, 87 снабжены внутренними каналами охлаждения (не показаны) стандартного характера, через которые может циркулировать охлаждающая жидкость при помощи стандартных входного и выходного патрубков (не показаны). Как отмечалось выше, три вторых катушки трансформатора, чьи компоненты являются проводящие доли 83, 86 и 87, также включают в себя в виде компонент, проводящие доли 135, 139, 140, 144 и 150; все эти компоненты могут быть снабжены внешними каналами охлаждения (не показаны), через которые может циркулировать охлаждающая жидкость при помощи стандартных входных и выходных патрубков. Кронштейны крепления 132-134 для сердечников трансформаторов 126-128 также могут иметь аналогичные внешние каналы охлаждения.

На фиг. 12 также приведен контур потока магнитного поля, при применении конструкции электромагнитного средства 81, включающей в себя проводящие доли 83, 86 и 87. Как отмечено выше, магнитное поле изображено магнитными силовыми линиями 80. Штрихованные линии не показаны на фиг. 12 для ясности. Магнитный элемент 108 и экран катушки 109 имеют соответствующие зубцы 25, 32, которые простираются выше фронтальных поверхностей проводящих долей 83, 86 и перекрывают периферийный выступ вала 22, тем самым увеличивая поток магнитного поля через периферийный выступ вала 22 и массу расплавленного металла 7.

Зубцы 25 и 32, выступая вперед за фронтальные поверхности проводящих долей 83, 86, имеют длину выступа больше, чем глубина ( $\delta$ ) поверхностного слоя расплавленного металла, и меньше, чем три глубины поверхностного слоя, что определено на основе соображений о сопротивлении проводимости массы расплавленного металла 7.

Когда расплавленный металл 7 представляет собой расплавленную сталь, то возникает конденсат на поверхности между массой расплавленного металла 7 и ближайшим валом для литья 2 или 3. Для эффективного удержания массы расплавленного металла у открытого

участка 11 зазора 6, на вышеупомянутой поверхности между массой расплава 7 и ближайшим валом для литья 2 или 3 требуется большее значение магнитного давления, чем в месте по горизонтали вглубь массы расплава. В соответствии с другой конструкцией данного изобретения, более сильное магнитное ограничивающее давление может быть оказано на поверхность между массой расплавленного металла и валом для литья 2 или 3 посредством увеличения переменного во времени тока, текущего через клинообразную проводящую долю (например, 86).

Во всех конструкциях используются следующие условия: общий ток, текущий через клинообразные проводящие доли 86, 87 и первую центральную проводящую долю 83 имеет то конкретное значение, которое достаточно для удержания массы расплавленного металла во всех точках поперек ее широкой верхней части 105 (фиг. 2.); тогда как ток, текущий через первую центральную проводящую долю 83, меньше значения тока, требуемого для удержания нижней части 107 массы расплавленного металла 7 у зажима 10 между валами для литья 2, 3.

На фиг. 19 под цифрой 168 указан нисходящий поток электрического тока на фронтальной поверхности 103 первой части 82 ограничивающей катушки. Под цифрой 169 указан результирующий восходящий поток тока, индуцированного в массе расплавленного металла 7. Цифрами 170 и 171 обозначен результирующий восходящий поток тока, индуцированного в периферийном выступе вала 21, 22 соответственно. Цифрой 172 указано направление потока горизонтального магнитного поля, генерированного переменным во времени током проводимости 168 и увеличенным переменными во времени индуцированными токами 169 - 171. Магнитное давление, обусловленное магнитным полем 172, генерированным переменным во времени током проводимости 168, увеличивается посредством магнитного поля, созданного переменными по времени индуцированными токами 169 - 171.

На фиг. 18 показана взаимная индуктивность между первыми катушками 123 и 124, между первыми катушками 123 и 125 и между первыми катушками 124 и 125. Существует также утечка индуктивности для каждой из первых катушек 123 - 125 и их соответствующих вторых катушек.

Эти индуктивности, как взаимная индуктивность, так и утечки индуктивности, уменьшают количество тока, которое может быть подано во вторую катушку трансформатора. Однако такая суммарная индуктивность (взаимная индуктивность плюс утечки индуктивности) на основе использования трех трансформаторов и трех отдельных и дискретных вторых токов в соответствии с данным изобретением меньше, чем индуктивность, описанная в следующем предложении. Эта индуктивность представляет собой утечки индуктивности, которые должны происходить, если один и тот же суммарный ток (например, в сумме 20000 А от всех трех проводящих долей 83, 86 и 87) течет через одну

проводящую долю, связанную с одной второй катушкой трансформатора и одной первой катушкой трансформатора. В результате этого, при использовании контуров в соответствии с данным изобретением, существуют меньшие потери тока для данного входного напряжения трансформатора (ов), и электрическая эффективность улучшается.

На фиг. 20 приведена конструкция данного изобретения, где вал 2 может быть сделан из ферромагнитного материала, детально описанного ниже, и в нем нет выступов и нет концевых зубцов на боковых частях 121 и 122 магнитного элемента 108 или на экране катушки 109 средства 81. Магнитное поле, генерированное конструкцией, показанной на фиг. 20, изображено магнитными силовыми линиями 80 на фиг. 20, где штриховые линии убраны для ясности.

Как отмечалось выше, на конструкции фиг. 20 вал 2 может быть сделан из ферромагнитного материала. Примеры таких материалов, включая, так называемые, "Супер 12 Сг нержавеющие стали", довольно многочисленны. Одна такая композиция включает в себя 12% хрома и 0,5% молибдена; другая - включает в себя 12% хрома, 1% молибдена и 0,8% никеля; еще одна - включает в себя 10% хрома и по одному проценту молибдена, меди и кобальта. С валом, сделанным из ферромагнитного материала, можно получить достаточный магнитный поток, пронизывающий электромагнитное ограничивающее средство и массу расплавленного металла, без применения зубцов на устройстве и без выступов на валу.

Ферромагнитный вал должен охлаждаться жидкостью при помощи стандартных приемов, доступных специалистам. Предпочтительно использовать одинаковую технологию охлаждения валов во всех конструкциях данного изобретения.

На фиг. 23 приведена модификация конструкции, показанной на фиг. 20, где каждый край вала 28, 27 соответствующего ферромагнитного вала 2, 3 охлаждается соответствующей жидкостью, имеет круглые краевые экраны 173, 174 непосредственно напротив лицевой стороны краев 175, 176 магнитного элемента 108 и 177, 178 экрана катушки 109. Трубочатые краевые экраны 173 и 174 сделаны из высокоэлектропроводного немагнитного материала, такого как медь, и обычно охлаждаются водой.

Модификация, показанная на фиг. 23, имеет определенные преимущества по сравнению с конструкцией, показанной на фиг. 20, где края валов, обращенные к магнитному элементу 108 и экрану катушки 109, целиком сделаны из того же самого ферромагнитного материала, что и остальная часть валов 2 и 3. В модификации, показанной на фиг. 23, получены: меньшие суммарные энергетические потери относительно валов 2 и 3, меньший общий нагрев валов и некоторое увеличение магнитного поля, созданного для удержания массы 7. Электрические токи,

индуцированные в медных краевых экранах 173, 174, создают магнитное поле, распространяющееся между краевыми экранами и краями 175, 176 магнитного элемента 108 и отклоняют его от направления нормали к ближайшей поверхности края вала 28 или 27 (фиг. 20) к направлению, параллельному ближайшей поверхности края вала, тем самым, минимизируя проникновение магнитного поля в край вала в точке, противолежащей краю 175, 176 магнитного элемента 108.

Возможно существование небольшого промежутка (не показан) между трубчатым краевым экраном 173 или 174 и ближайшими частями соответствующего вала 2, 3 для регулировки различия в тепловом расширении между медью краевых экранов 173, 174 и ферромагнитным материалом валов 2, 3.

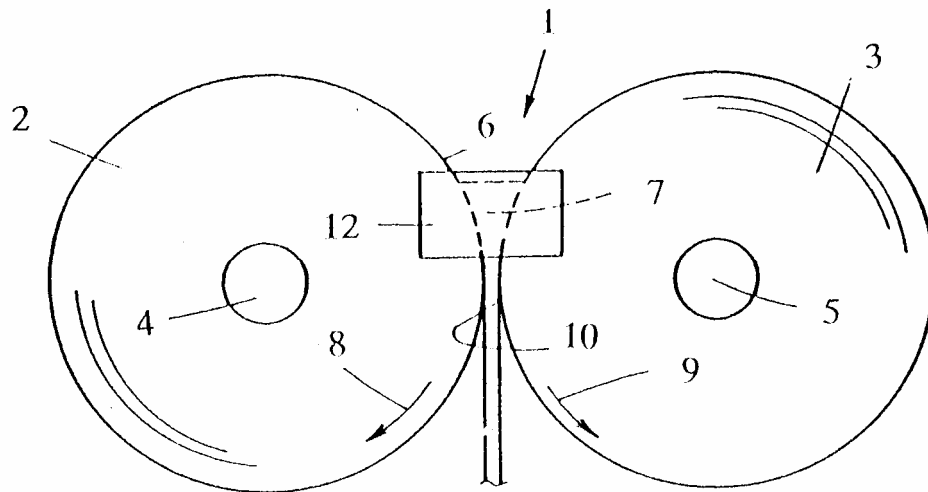
Физическая конфигурация электромагнитного ограничивающего средства 81 показана на фиг. 20 (то есть, без концевых зубцов на магнитном элементе и экране катушки 109), и не ограничивается применением в устройстве вала, сделанного из ферромагнитного материала. Вал, сделанный из меди или нержавеющей стали, может также быть использован в устройстве, показанном на фиг. 20; и тем не менее, связь по магнитному потоку может быть уменьшена.

Наоборот, вал 3, сделанный из ферромагнитного материала, может быть снабжен выступами, как показано на фиг. 5-6, 12 и 19, например, и в этом случае может использоваться с электромагнитными ограничивающими средствами, имеющими концевые зубцы на магнитном элементе средства и экране катушки.

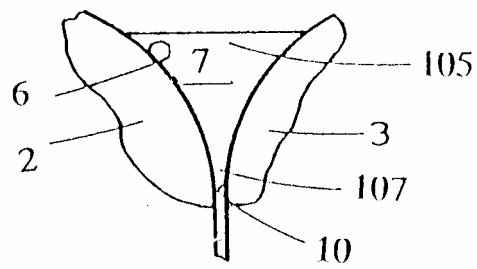
Проблемы механических зазоров могут возникнуть, если такой вал имеет выступы, а электромагнитное ограничивающее средство имеет зубцы, и существует тепловое расширение вала (и средства) в процессе работы устройства. Могут потребоваться адекватное охлаждение и приемы пространственного расположения для регулирования указанного теплового расширения, и примеры этого описаны выше.

Как отмечалось выше, назначение экрана катушки во всех конструкциях заключается в ограничении той части магнитного поля, которая находится вне обратной линии низкого сопротивления, обозначенной магнитным элементом, окрестностью открытого участка зазора между валами для литья. Существование некоторой утечки магнитного поля из этой окрестности (например, как показано на фиг. 12 и 20) не означает значительного отклонения от поставленной цели в соответствии с данным изобретением. Для корректировки возможно применение экрана катушки, который окружает экраны катушки, где происходят такие утечки.

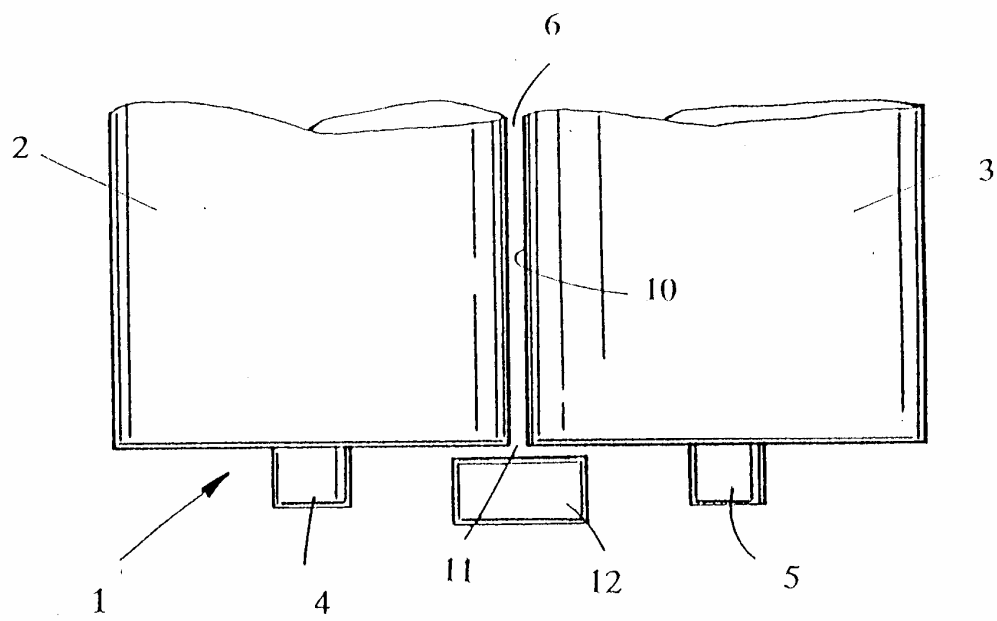
Вышеупомянутое детальное описание дано только для ясности понимания и не является препятствием для модификаций, которые очевидны специалистам.



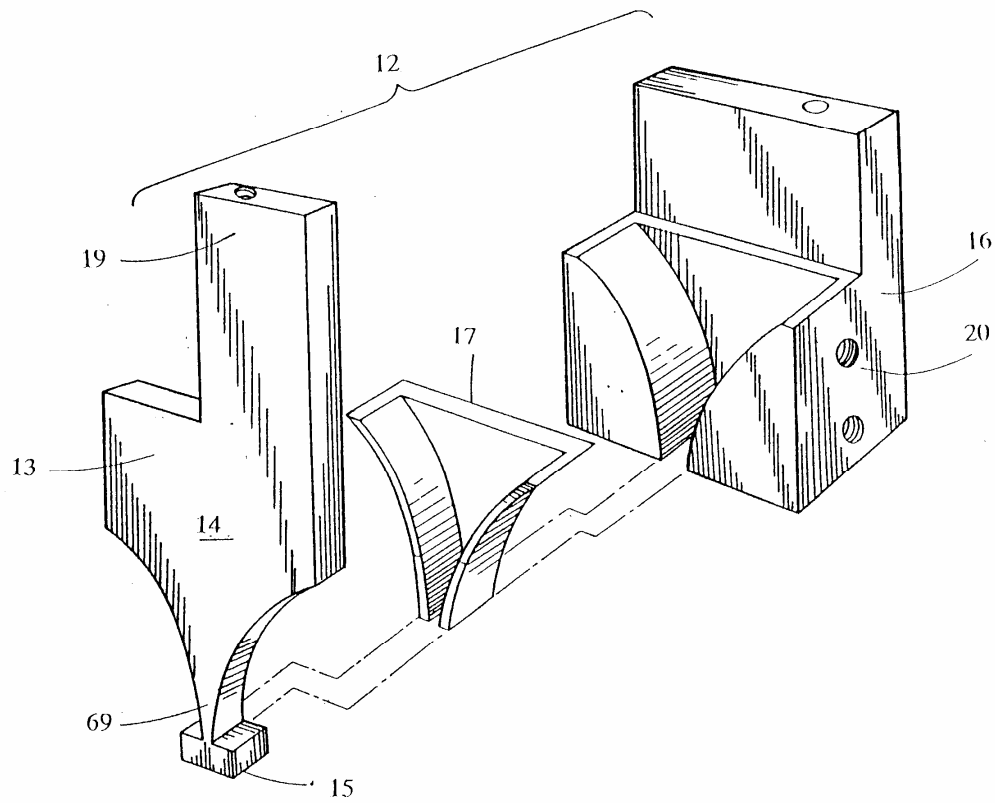
Фиг. 1



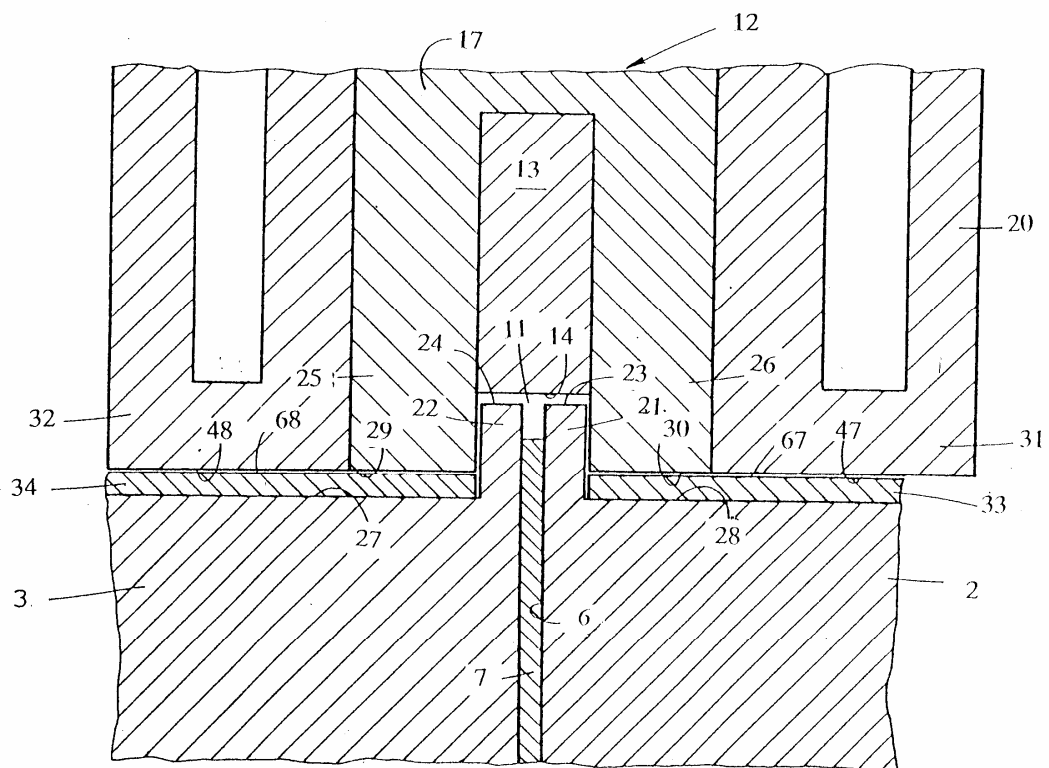
Фиг. 2



Фиг. 3

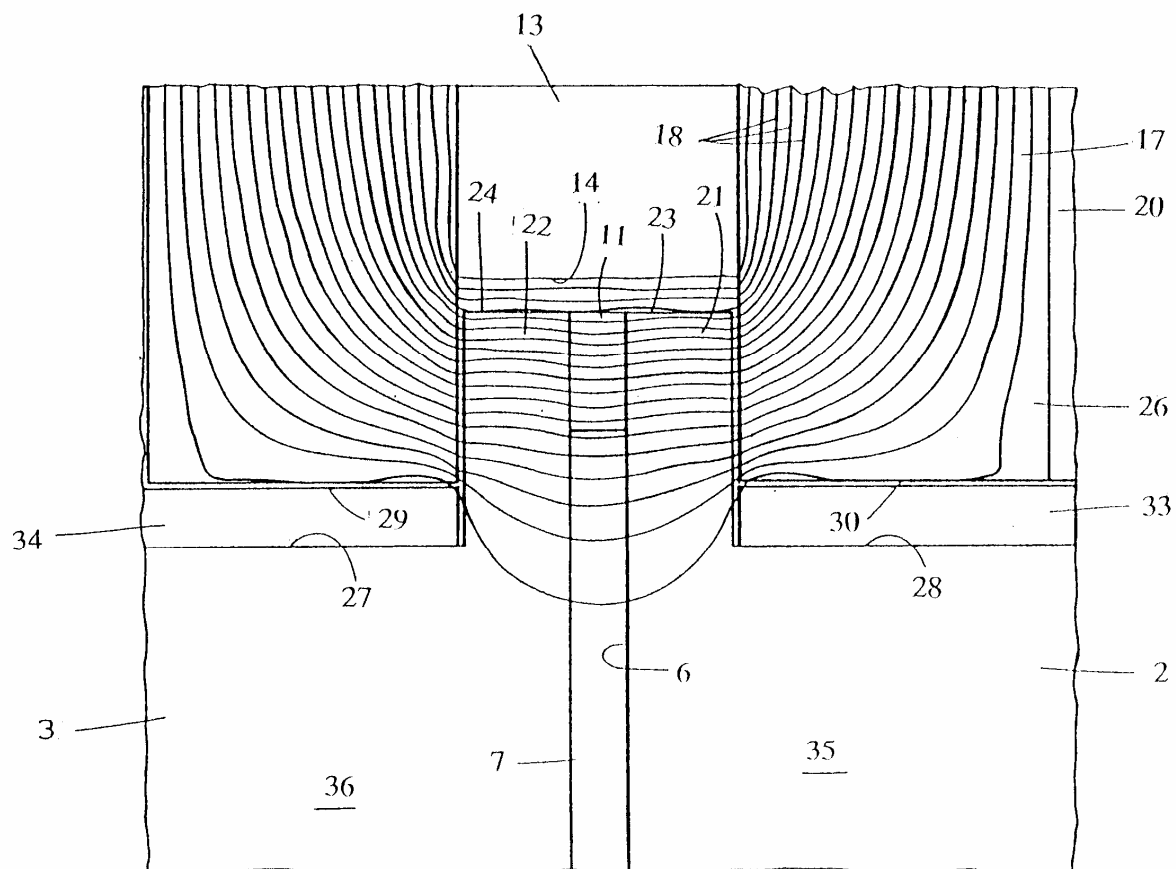


Фиг. 4

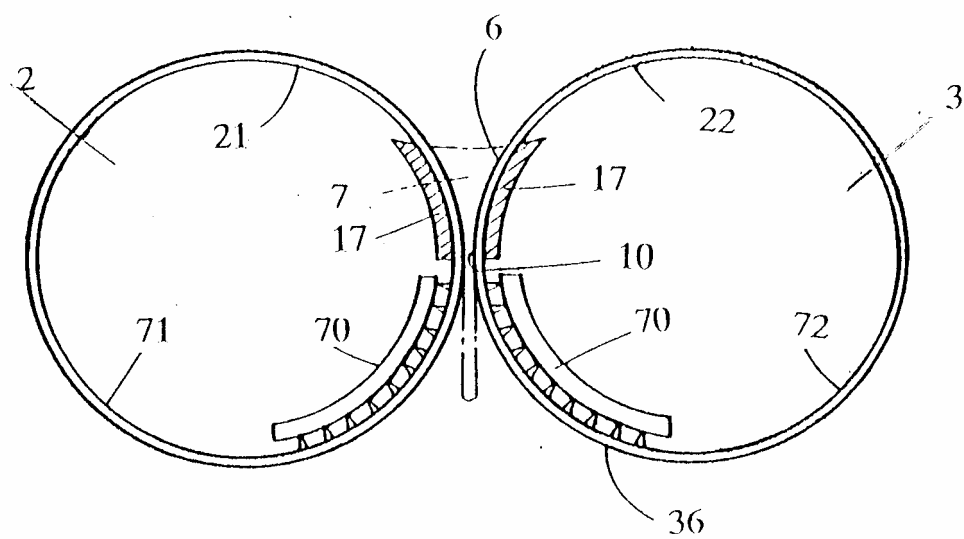


Фиг. 5

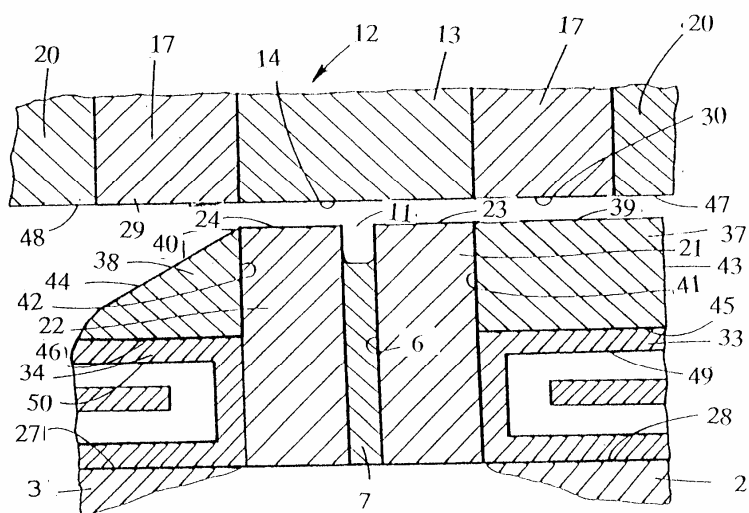




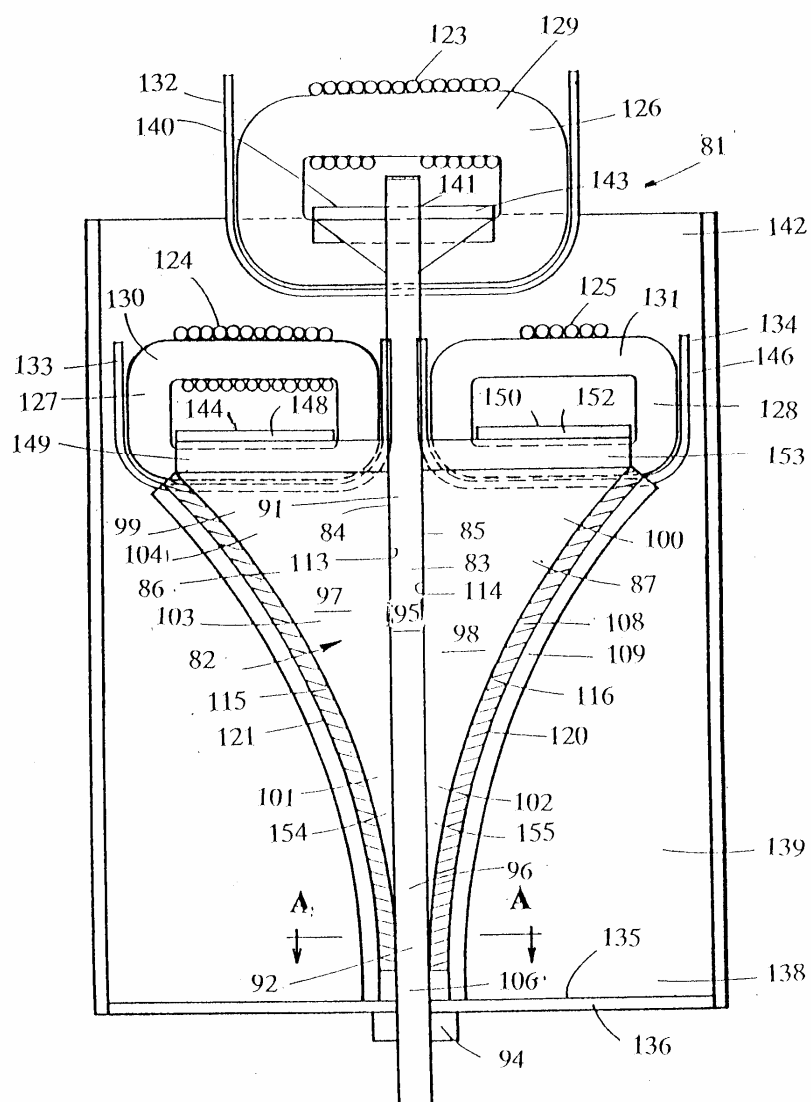
**Фиг. 6**



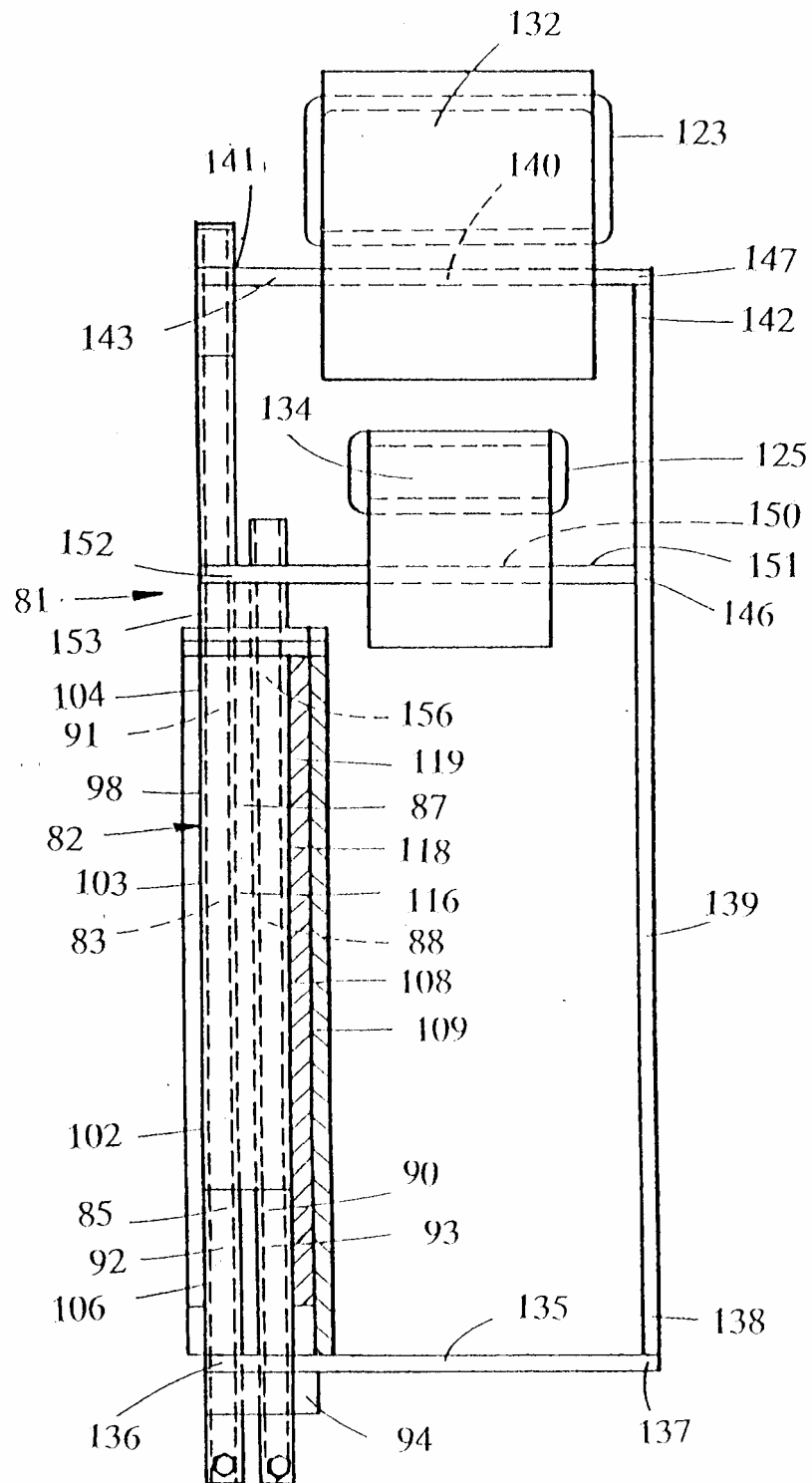
**Фиг. 7**



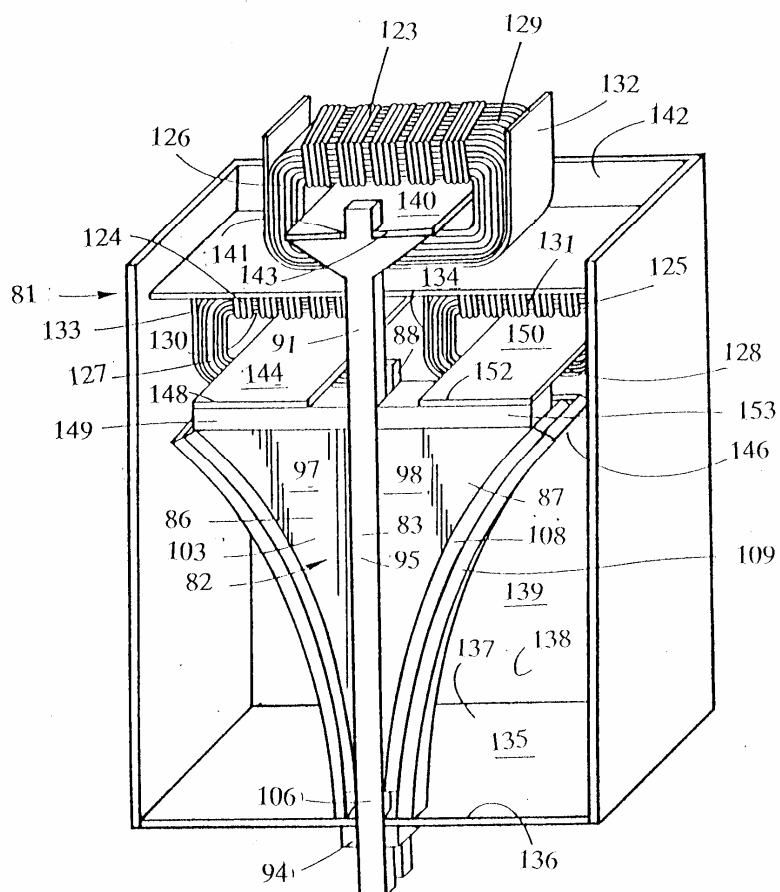
Фиг. 8



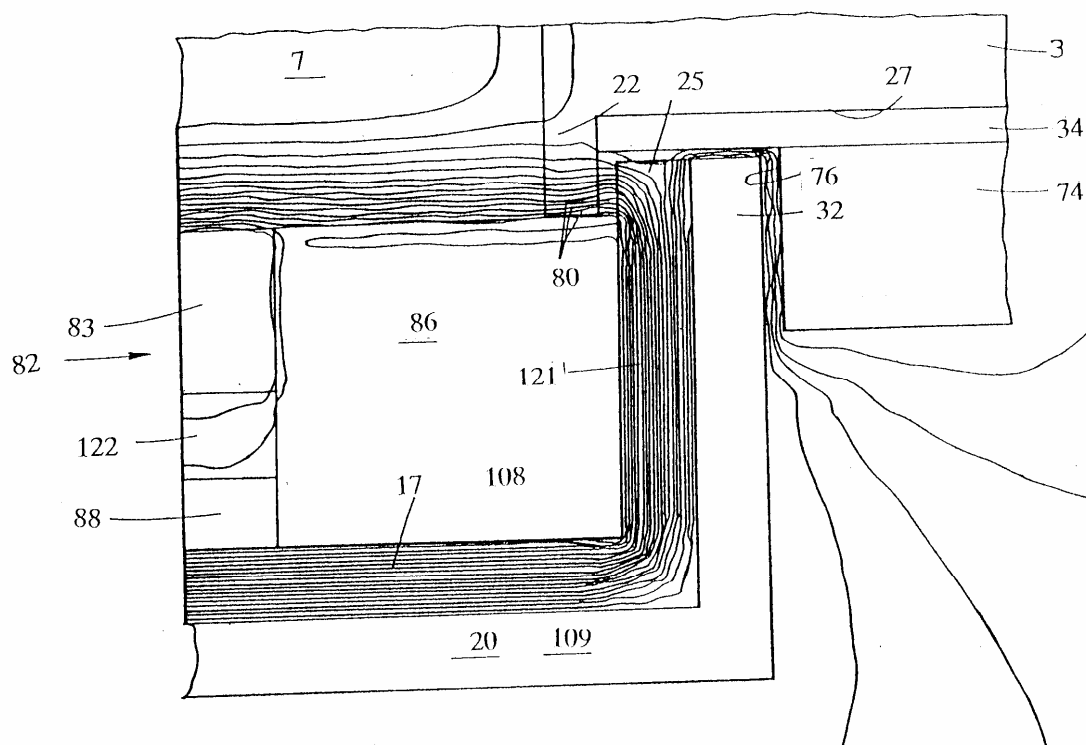
Фиг. 9



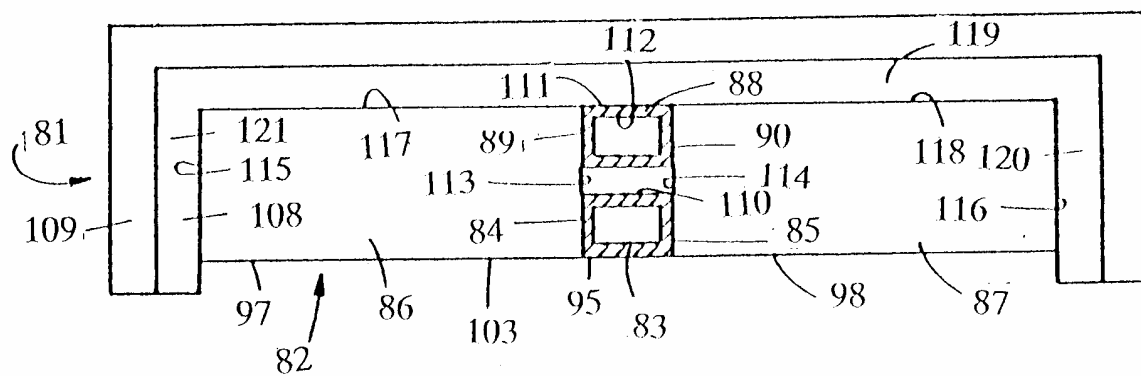
Фиг. 10



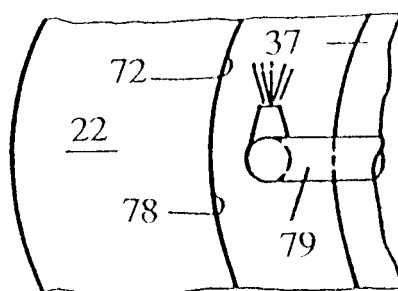
**Фиг. 11**



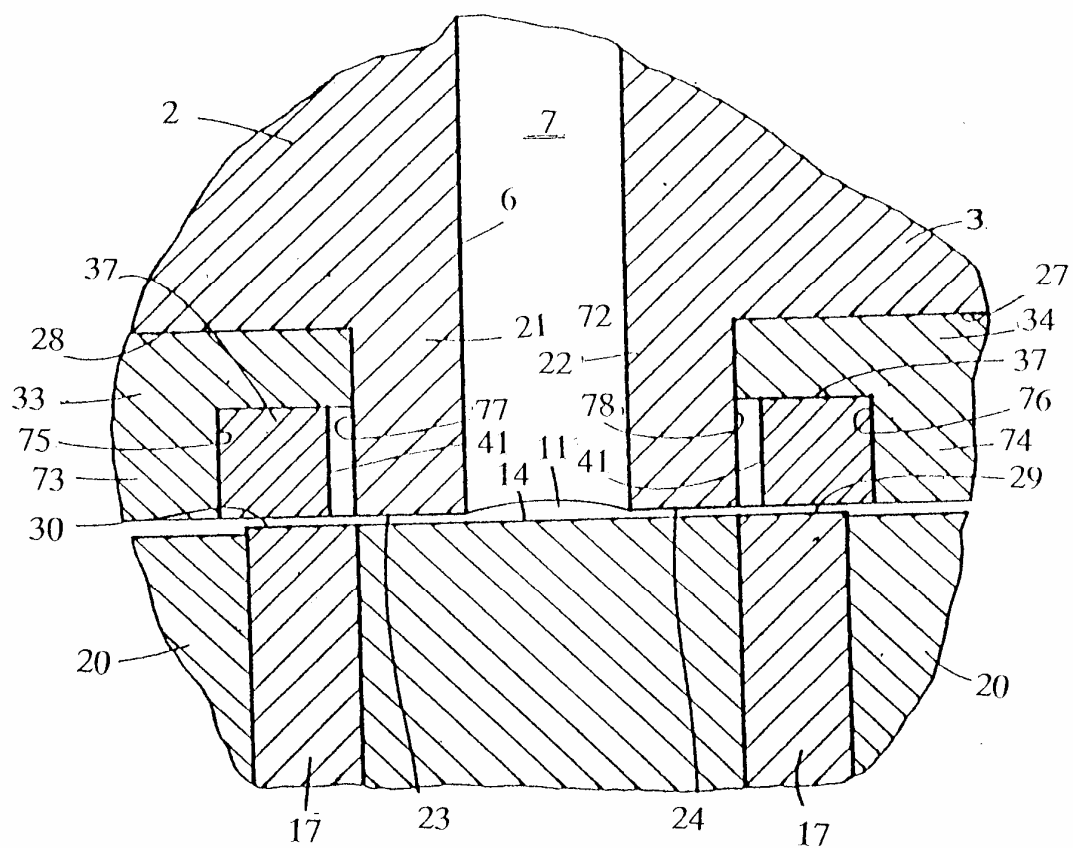
**Фиг. 12**



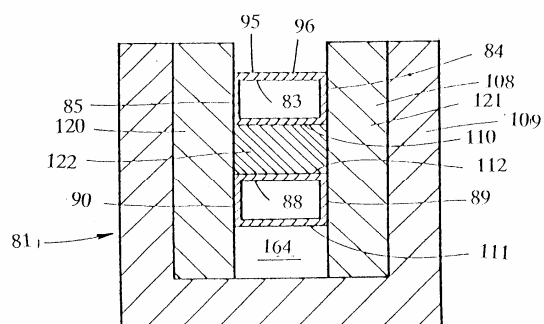
**Фиг. 13**



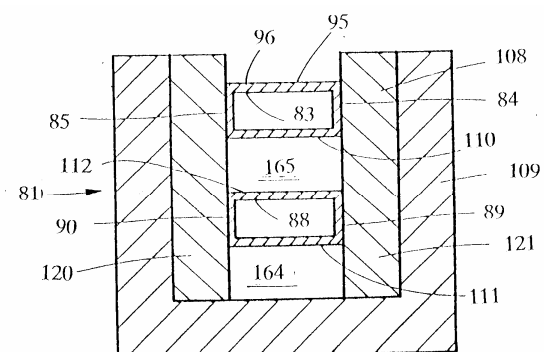
**Фиг. 14**



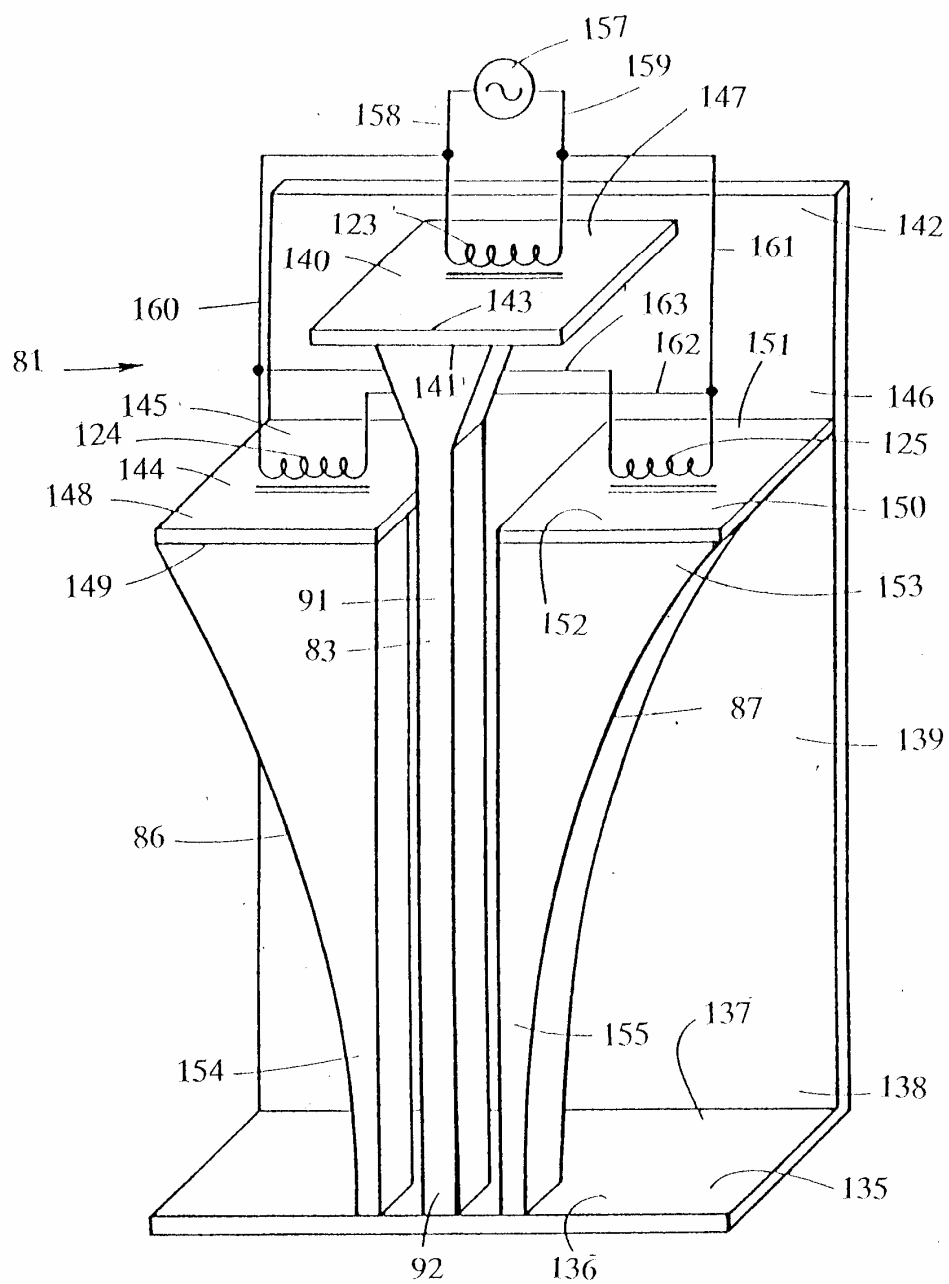
**Фиг. 15**



**Фиг. 16**

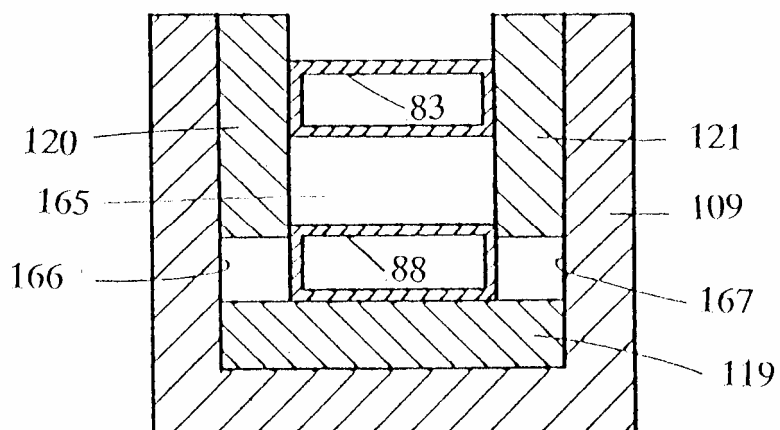


**Фиг. 17**

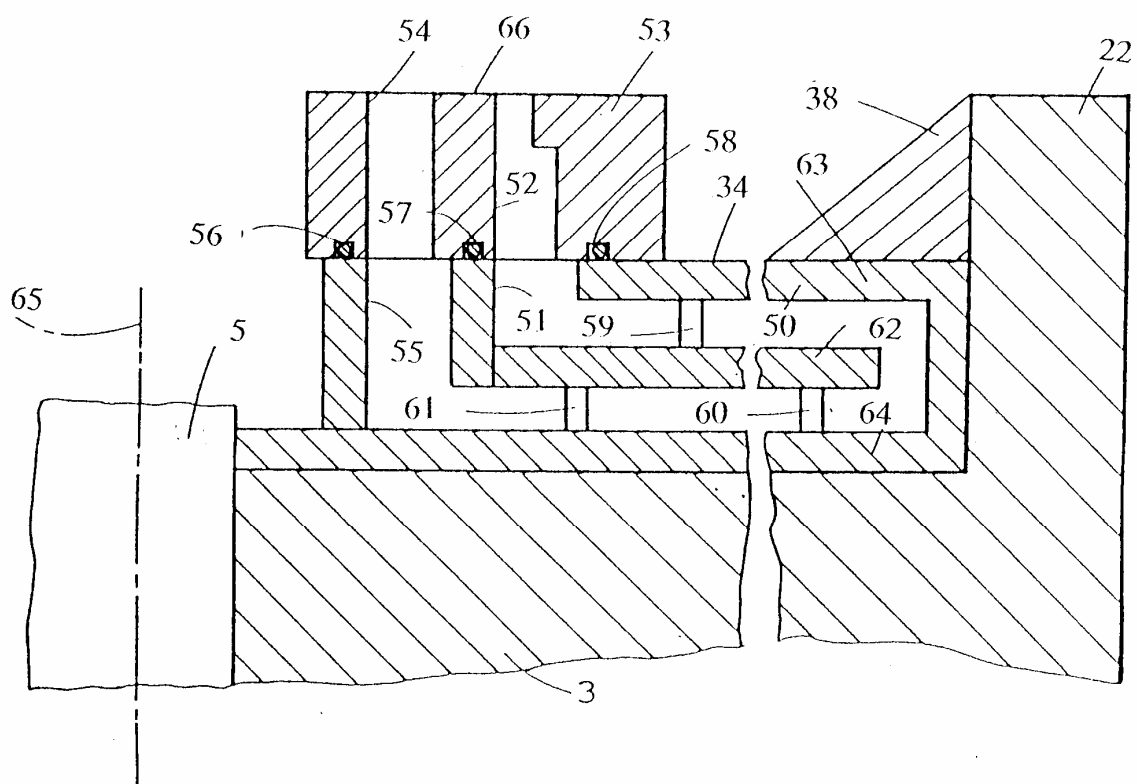


**Фиг. 18**



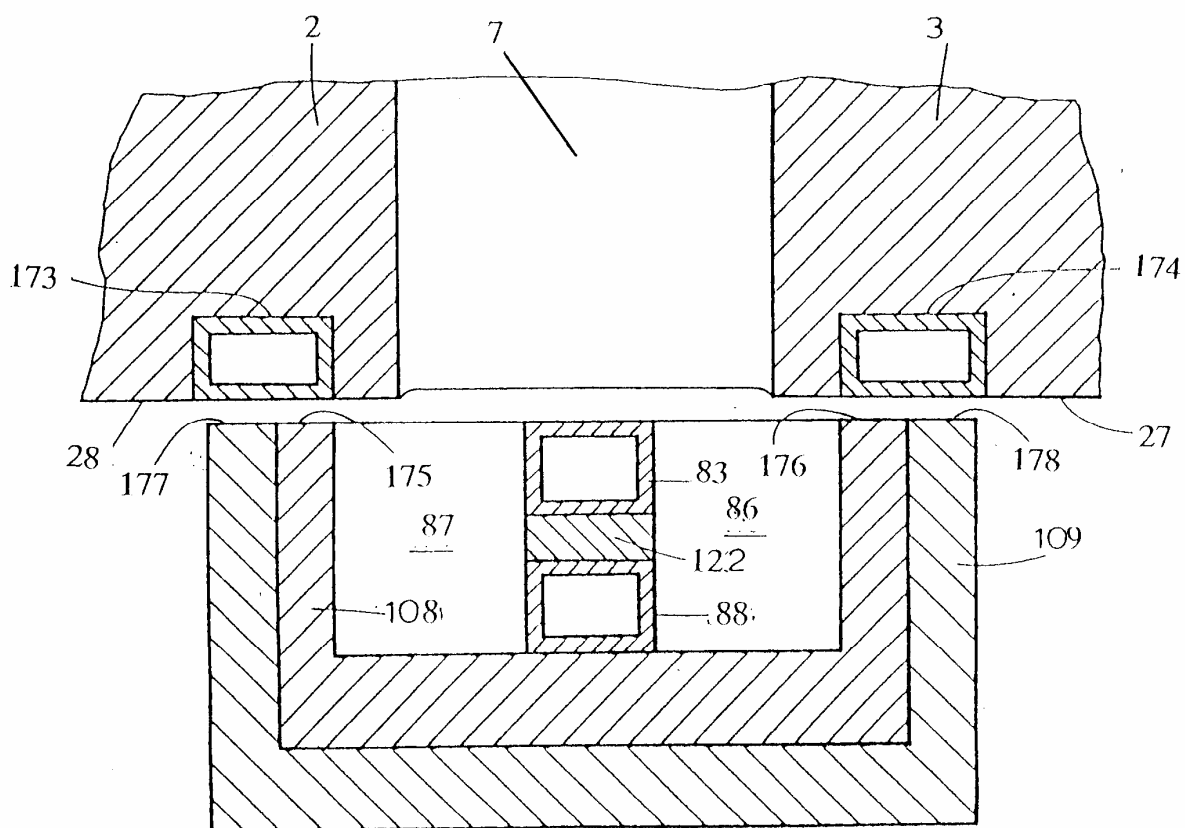


Фиг. 21



Фиг. 22





Фиг. 23

Тираж 50 экз.

Відкрите акціонерне товариство «Патент»  
 Україна, 88000, м. Ужгород, вул. Гагаріна, 101  
 (03122) 3 – 72 – 89 (03122) 2 – 57 – 03