

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(21) **201992435** (13) **A1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2020.02.28

(22) Дата подачи заявки
2018.04.13

(51) Int. Cl. *C22B 9/22* (2006.01)
B22D 11/00 (2006.01)
B22D 11/041 (2006.01)
B22D 21/06 (2006.01)
B22D 27/02 (2006.01)
B22D 43/00 (2006.01)
C22B 34/12 (2006.01)
C22C 14/00 (2006.01)

(54) СПОСОБ ПРОИЗВОДСТВА МЕТАЛЛИЧЕСКОГО СЛИТКА

(31) 2017-079733; 2017-079732; 2017-079734;
2017-079735

(32) 2017.04.13

(33) JP

(86) PCT/JP2018/015536

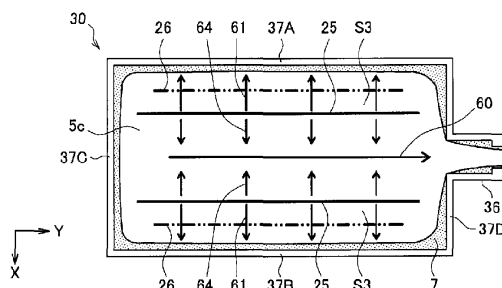
(87) WO 2018/190419 2018.10.18

(71) Заявитель:
НИППОН СТИЛ КОРПОРЕЙШН
(JP)

(72) Изобретатель:
Фунагане Хитоси, Хамаоги Кендзи
(JP)

(74) Представитель:
Медведев В.Н. (RU)

(57) Проблема. Предложить способ производства металлического слитка, который позволял бы ингибировать попадание в слиток примесей, содержащихся в расплавленном металле в ванне печи. Решение. Способ производства металлического слитка путем использования электронно-лучевой печи, имеющей электронную пушку и ванну, которая накапливает расплавленный металл металлического сырья, в котором металлическое сырье подается в положение на линии подачи, расположенной вдоль второй боковой стенки ванны, которая накапливает расплавленный металл металлического сырья. Первый электронный луч излучается вдоль первой линии облучения, которая расположена вдоль линии подачи и ближе к центральной части ванны относительно линии подачи на поверхности расплавленного металла. За счет этого температура поверхности (T_2) расплавленного металла на первой линии облучения устанавливается более высокой, чем средняя температура (T_0) всей поверхности расплавленного металла в ванне, и в наружном слое расплавленного металла формируется первый поток расплавленного металла от первой линии облучения к линии подачи.



A1

201992435

201992435

A1

СПОСОБ ПРОИЗВОДСТВА МЕТАЛЛИЧЕСКОГО СЛИТКА**ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ, К КОТОРОЙ ОТНОСИТСЯ ИЗОБРЕТЕНИЕ**

[0001]

Настоящее изобретение относится к способу производства металлического слитка, в котором металлическое сырье плавится с помощью процесса плавления электронным лучом.

УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

[0002]

Слиток технически чистого титана или титанового сплава и т.п. производится путем плавления титанового сырья, такого как титановая губка или отходы. Примеры способов плавления металлического сырья (далее просто «сырья»), такого как титановое сырье, включают в себя процесс вакуумно–дугового переплава, процесс плазменно–дугового плавления и процесс электронно–лучевого плавления. В процессе электронно–лучевого плавления сырье плавится путем направления электронного луча на твердое сырье в электронно–лучевой плавильной печи (далее также упоминаемой как «ЭЛ–печь»). Для того, чтобы предотвратить рассеяние энергии электронного луча, плавление сырья облучением электронным лучом в ЭЛ–печи выполняется в вакуумной камере. Расплавленный титан (далее также упоминаемый как «расплавленный металл»), который является расплавленным сырьем, очищается в ванне печи, а затем отверждается в литейной форме для того, чтобы сформировать слиток титана. В соответствии с процессом электронно–лучевого плавления, поскольку положением облучения электронным лучом, который является источником тепла, можно точно управлять с помощью электромагнитной силы, тепло, может также в достаточной степени подаваться к расплавленному металлу около литейной формы. Следовательно, возможно производить слиток без ухудшения качества его поверхности.

[0003]

ЭЛ–печь обычно включает в себя часть подачи сырья, которая подает сырье, такое как титановая губка, одну или множество электронных пушек для плавления подаваемого сырья, ванну (например, охлаждаемую водой медную ванну, тигель) для накопления расплавленного сырья, и литейную форму для формирования слитка путем охлаждения расплавленного титана, выливаемого в нее из ванны. ЭЛ–печи грубо классифицируются на два типа в соответствии с различиями в конфигурациях ванн. В частности, например, ЭЛ–печь 1А, которая включает в себя плавильную ванну 31 и ванну 33 очистки, как проиллюстрировано на Фиг. 1, и ЭЛ–печь 1В, которая включает в себя только ванну 30 очистки, как проиллюстрировано на Фиг. 2, представляют собой два разных типа ЭЛ–печи.

[0004]

ЭЛ–печь 1А, проиллюстрированная на Фиг. 1, включает в себя часть 10 подачи

сырья, электронные пушки 20а – 20е, плавильную ванну 31 и ванну 33 очистки, а также литейную форму 40. Твердое сырье 5, которое вводится в плавильную ванну 31 из части 10 подачи сырья, облучается электронными пушками 20а и 20b, чтобы тем самым расплавить сырье 5 и получить расплавленный металл 5с. Расплавленное сырье (расплавленный металл 5с) в плавильной ванне 31 течет в ванну 33 очистки, которая сообщается с плавильной ванной 31. В ванне 33 очистки температура расплавленного металла 5с поддерживается или увеличивается с помощью облучения расплавленного металла 5с электронными пушками 20с и 20d. Посредством этого примеси, содержащиеся в расплавленном металле 5с, удаляются и т.п., и расплавленный металл 5с очищается. После этого очищенный расплавленный металл 5с течет в литейную форму 40 из части 33а сливного носка, предусмотренной на концевой части ванны 33 очистки. Расплавленный металл 5с затвердевает в литейной форме 40, производя тем самым слиток 50. Ванна, состоящая из плавильной ванны 31 и ванны 33 очистки, как показано на Фиг. 1, также упоминается как «длинная ванна».

[0005]

С другой стороны, ЭЛ–печь 1В, показанная на Фиг. 2, включает в себя части 10А и 10В подачи сырья, электронные пушки 20А – 20D, ванну 30 очистки и литейную форму 40. Ванна, которая состоит только из ванны 30 очистки, также упоминается как «короткая ванна» в отличие от «длинной ванны», показанной на Фиг. 1. В ЭЛ–печи 1В, которая использует короткую ванну, твердое сырье 5, которое размещено на частях 10А и 10В подачи сырья, плавится электронными лучами, которые излучаются из электронных пушек 20А и 20В, и расплавленное сырье 5 капает в расплавленный металл 5с, находящийся в ванне 30 очистки, с частей 10А и 10В подачи сырья. Таким образом, плавильная ванна 31, проиллюстрированная на Фиг. 1, может быть устранена из ЭЛ–печи 1В, проиллюстрированной на Фиг. 2. В дополнение к этому, в ванне 30 очистки температура расплавленного металла 5с поддерживается или увеличивается с помощью излучения электронных лучей из электронной пушки 20С в широких пределах на всю поверхность расплавленного металла 5с. Посредством этого примеси, содержащиеся в расплавленном металле 5с, удаляются и т.п., и таким образом расплавленный металл 5с очищается. После этого очищенный расплавленный металл 5с течет в литейную форму 40 из части 36 сливного носка, предусмотренной на концевой части ванны 30 очистки, и производится слиток 50.

[0006]

В случае производства слитка с использованием ванны и литейной формы посредством процесса электронно–лучевого плавления, как было описано выше, если примеси попадут в слиток, они станут причиной трещин в слитке. Следовательно, имеется потребность в разработке технологии электронно–лучевого плавления, которая могла бы гарантировать непопадание примесей в расплавленный металл, который течет в литейную форму из ванны. Примеси происходят главным образом из сырья, и классифицируются на два вида, а именно, HDI (включения высокой плотности, ВВП) и LDI (включения низкой

плотности, ВНП). ВВП представляет собой, например, примесь, в которой главным компонентом является вольфрам, и плотность ВВП больше плотности расплавленного титана. С другой стороны, ВНП представляет собой примесь, в которой главным компонентом является азотированный титан и т.п. Внутренняя часть ВНП находится в пористом состоянии, и поэтому плотность ВНП меньше плотности расплавленного титана.

[0007]

На внутренней поверхности охлаждаемой водой медной ванны формируется отвержденный слой, представляющий собой расплавленный титан, затвердевший от соприкосновения с поверхностью ванны. Этот отвержденный слой известен как «гарнисаж». Среди вышеупомянутых примесей, поскольку ВВП имеют высокую относительную плотность, они оседают в расплавленном металле (расплавленном титане) в ванне и прилипают к поверхности гарнисажа, и тем самым улавливаются, и следовательно вероятность попадания ВВП в слиток становится низкой. С другой стороны, поскольку плотность ВНП меньше плотности расплавленного титана, основная часть ВНП всплывает на поверхность расплавленного металла внутри ванны. В то время как ВНП всплывают на поверхность расплавленного металла, азот диффундирует в расплавленный металл и растворяется в нем. В случае использования длинной ванны, показанной на Фиг. 1, поскольку время пребывания расплавленного металла в длинной ванне может быть увеличено, становится легче заставить примеси, такие как ВНП, растворяться в расплавленном металле по сравнению со случаем использования короткой ванны. С другой стороны, в случае использования короткой ванны, как показано на Фиг. 2, поскольку время пребывания расплавленного металла в короткой ванне меньше по сравнению с длинной ванной, вероятность того, что примеси не будут растворяться в расплавленном металле, является высокой по сравнению с использованием длинной ванны. Кроме того, в случае ВНП, которые имеют высокое содержание азота, поскольку температура их растворения является высокой, вероятность того, что ВНП растворятся в расплавленном металле за время пребывания при нормальной работе, является чрезвычайно низкой.

[0008]

Поэтому, например, Патентный документ 1 раскрывает способ электронно-лучевого плавления металлического титана, в котором поверхность расплавленного металла в ванне сканируется электронным лучом в направлении, противоположном направлению, в котором расплавленный металл течет в литейную форму, и средняя температура расплавленного металла в области, смежной с выпускным отверстием для расплавленного металла в ванне, поддерживается равной или выше, чем температура плавления примесей. В соответствии с методикой, раскрытой в Патентном документе 1, путем сканирования электронным лучом зигзагообразным образом в направлении, противоположном направлению потока расплавленного металла, предпринимается попытка оттолкнуть обратно примеси, которые всплывают на поверхность

расплавленного металла, чтобы они не попадали в литейную форму.

СПИСОК ДОКУМЕНТОВ ПРЕДШЕСТВУЮЩЕГО УРОВНЯ ТЕХНИКИ

ПАТЕНТНЫЕ ДОКУМЕНТЫ

[0009]

Патентный документ 1: JP2004-232066A

НЕПАТЕНТНЫЙ ДОКУМЕНТ

[0010]

Непатентный документ 1: Tao Meng, «Factors influencing the fluid flow and heat transfer in electron beam melting of Ti-6Al-4V», (2009)

СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

ТЕХНИЧЕСКАЯ ПРОБЛЕМА

[0011]

Однако в соответствии со способом, раскрытым в вышеупомянутом Патентном документе 1, поскольку сканирование электронного луча осуществляется в направлении, противоположном направлению потока расплавленного металла, существует вероятность того, что примеси, находящиеся дальше по потоку расплавленного металла относительно положения облучения электронным лучом, попадут в литейную форму. В дополнение к этому, дальше по потоку расплавленного металла относительно положения облучения электронным лучом поток расплавленного металла ускоряется к литейной форме, и таким образом время пребывания расплавленного металла в ванне уменьшается, и существует вероятность того, что коэффициент удаления примесей уменьшится. Кроме того, когда примеси присутствуют дальше по потоку расплавленного металла относительно положения облучения электронным лучом, риск их попадания с потоком расплавленного металла в литейную форму увеличивается. По этим причинам существует вероятность того, что примеси, содержащиеся в расплавленном металле внутри ванны, в частности ВНП, всплывающие на поверхность расплавленного металла 5с, будут вытекать в литейную форму из ванны и окажутся в слитке, который формируется в литейной форме. Следовательно, существует потребность в способе производства металлического слитка, который путем предотвращения вытекания из ванны в литейную форму примесей, таких как ВНП, мог бы предотвращать попадание примесей в слиток.

[0012]

Задача настоящего изобретения, которое было сделано с учетом вышеупомянутой проблемы, состоит в том, чтобы предложить новый и улучшенный способ производства металлического слитка, который позволял бы ингибировать попадание в слиток примесей, содержащихся в расплавленном металле в ванне печи.

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

[0013]

Для того, чтобы решить вышеупомянутую проблему, в соответствии с одним аспектом настоящего изобретения предлагается способ производства металлического слитка путем использования электронно-лучевой печи, имеющей электронную пушку,

способную управлять положением облучения электронным лучом, и ванну, которая накапливает расплавленный металл из металлического сырья, причем этот металлический слиток содержит в сумме 50 мас.% или больше по меньшей мере одного металлического элемента, выбираемого из группы, состоящей из титана, тантала, ниобия, ванадия, молибдена и циркония, причем:

среди множества боковых стенок ванны, которая накапливает расплавленный металл из металлического сырья, первая боковая стенка является боковой стенкой, снабженной частью сливного носка для вытекания расплавленного металла из ванны в литейную форму, а вторая боковая стенка является по меньшей мере одной из боковых стенок, отличающейся от первой боковой стенки;

металлическое сырье подается в положение на линии подачи, которая расположена вдоль внутренней поверхности второй боковой стенки на поверхности расплавленного металла;

первый электронный луч излучается вдоль первой линии облучения, располагающейся вдоль линии подачи и находящейся ближе к центральной части ванны относительно линии подачи на поверхности расплавленного металла; и

излучение первого электронного луча вдоль первой линии облучения увеличивает температуру поверхности (T2) расплавленного металла на первой линии облучения выше средней температуры поверхности (T0) всей поверхности расплавленного металла в ванне, и формирует в наружном слое расплавленного металла первый расплавленный металл, текущий от первой линии облучения к линии подачи.

[0014]

Конфигурация может быть сделана такой, чтобы температурный градиент $\Delta T/L$, представленный нижеприведенной Формулой (A), составлял $-2,70$ [K/мм] или больше.

$$\Delta T/L = (T2 - T1)/L \text{ (A)}$$

где T1: температура поверхности [K] расплавленного металла на линии подачи

T2: температура поверхности [K] расплавленного металла на первой линии облучения

L: расстояние [мм] между первой линией облучения и линией подачи на поверхности расплавленного металла

[0015]

Конфигурация может быть сделана такой, чтобы вышеупомянутый градиент $\Delta T/L$ составлял $0,00$ [K/мм] или больше, и

первый поток расплавленного металла, который вытекает из первой линии облучения через линию подачи к внутренней поверхности второй боковой стенки, формировался в наружном слое расплавленного металла.

[0016]

Конфигурация может быть сделана такой, чтобы металлическое сырье плавилось в части подачи сырья, и расплавленное металлическое сырье капало из части подачи сырья на некоторое положение на линии подачи расплавленного металла в ванне.

[0017]

Конфигурация может быть сделана такой, чтобы на поверхности расплавленного металла оба конца первой линии облучения располагались на внешней стороне в направлении прохождения линии подачи относительно обоих концов линии подачи.

[0018]

Конфигурация может быть сделана такой, чтобы второй поток расплавленного металла в направлении к части сливного носка формировался в лентообразной области между линией подачи и первой линией облучения, и

второй электронный луч излучался в виде пятна на второй поток расплавленного металла.

[0019]

Конфигурация может быть сделана такой, чтобы второй электронный луч излучался в виде пятна на второй поток расплавленного металла в положении пятна облучения, которое расположено на концевой части лентообразной области со стороны части сливного носка.

[0020]

Конфигурация может быть сделана такой, чтобы третий электронный луч излучался вдоль второй линии облучения, располагаемой таким образом, чтобы она блокировала часть сливного носка на поверхности расплавленного металла, и оба конца второй линии облучения располагались в непосредственной близости от первой боковой стенки.

[0021]

Металлическое сырье может содержать 50 мас.% или больше элементарного титана.

ПОЛЕЗНЫЕ ЭФФЕКТЫ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0022]

В соответствии с описанным выше настоящим изобретением, попадание в слиток примесей, содержащихся в расплавленном металле в ванне печи, может быть ингибировано.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

[0023]

[Фиг. 1] Фиг. 1 представляет собой схематическую диаграмму, иллюстрирующую электронно-лучевую печь, которая включает в себя длинную ванну.

[Фиг. 2] Фиг. 2 представляет собой схематическую диаграмму, иллюстрирующую электронно-лучевую печь, которая включает в себя короткую ванну.

[Фиг. 3] Фиг. 3 представляет собой схематическую диаграмму, иллюстрирующую электронно-лучевую печь (с короткой ванной), которая осуществляет способ производства металлического слитка согласно первому варианту осуществления настоящего изобретения.

[Фиг. 4] Фиг. 4 представляет собой вид сверху, иллюстрирующий один пример

линии облучения и подающих линий в ванне согласно первому варианту осуществления настоящего изобретения.

[Фиг. 5] Фиг. 5 представляет собой вид сверху, иллюстрирующий один пример потоков расплавленного металла, которые формируются с помощью способа производства металлического слитка согласно первому варианту осуществления настоящего изобретения.

[Фиг. 6А] Фиг. 6А представляет собой продольный разрез, иллюстрирующий состояние потока расплавленного металла, когда электронный луч не излучается вдоль линии облучения, в качестве сравнительного примера для первого варианта осуществления настоящего изобретения.

[Фиг. 6В] Фиг. 6В представляет собой вид сверху, иллюстрирующий состояние потока расплавленного металла, когда электронный луч не излучается вдоль линии облучения, в качестве сравнительного примера для первого варианта осуществления настоящего изобретения.

[Фиг. 7] Фиг. 7 представляет собой продольный разрез, иллюстрирующий состояние потока расплавленного металла, когда электронный луч излучается вдоль линии облучения согласно способу производства металлического слитка первого варианта осуществления настоящего изобретения.

[Фиг. 8] Фиг. 8 представляет собой вид сверху, иллюстрирующий другой пример потоков расплавленного металла, которые формируются с помощью способа производства металлического слитка согласно первому варианту осуществления настоящего изобретения.

[Фиг. 9] Фиг. 9 представляет собой вид ванны сверху, иллюстрирующий другой пример потоков расплавленного металла, которые формируются с помощью способа производства металлического слитка согласно первому варианту осуществления настоящего изобретения.

[Фиг. 10] Фиг. 10 представляет собой вид ванны сверху, который иллюстрирует один пример потока расплавленного металла, формируемого способом производства металлического слитка согласно модификации первого варианта осуществления настоящего изобретения.

[Фиг. 11] Фиг. 11 представляет собой вид ванны сверху, который иллюстрирует один пример потока расплавленного металла, формируемого способом производства металлического слитка согласно модификации первого варианта осуществления настоящего изобретения.

[Фиг. 12] Фиг. 12 представляет собой вид сверху, иллюстрирующий один пример потоков расплавленного металла, которые формируются с помощью способа производства металлического слитка согласно второму варианту осуществления настоящего изобретения.

[Фиг. 13] Фиг. 13 представляет собой вид ванны сверху, который иллюстрирует один пример потока расплавленного металла, формируемого способом производства

металлического слитка согласно модификации второго варианта осуществления настоящего изобретения.

[Фиг. 14] Фиг. 14 представляет собой вид ванны сверху, который иллюстрирует один пример потока расплавленного металла, формируемого способом производства металлического слитка согласно модификации второго варианта осуществления настоящего изобретения.

[Фиг. 15] Фиг. 15 представляет собой вид сверху, иллюстрирующий один пример потоков расплавленного металла, которые формируются с помощью способа производства металлического слитка согласно третьему варианту осуществления настоящего изобретения.

[Фиг. 16] Фиг. 16 представляет собой вид ванны сверху, который иллюстрирует один пример потока расплавленного металла, формируемого способом производства металлического слитка согласно модификации третьего варианта осуществления настоящего изобретения.

[Фиг. 17] Фиг. 17 представляет собой вид сверху, иллюстрирующий состояние ванны согласно Сравнительным примерам 1 и 2.

[Фиг. 18] Фиг. 18 представляет собой диаграмму линий потока, иллюстрирующую течение расплавленного металла согласно Примеру 1.

[Фиг. 19] Фиг. 19 представляет собой пояснительный чертеж, иллюстрирующий результат моделирования согласно Примеру 1.

[Фиг. 20] Фиг. 20 представляет собой пояснительный чертеж, иллюстрирующий результат моделирования согласно Примеру 2.

[Фиг. 21] Фиг. 21 представляет собой пояснительный чертеж, иллюстрирующий результат моделирования согласно Примеру 3.

[Фиг. 22] Фиг. 22 представляет собой пояснительный чертеж, иллюстрирующий результат моделирования согласно Примеру 4.

[Фиг. 23] Фиг. 23 представляет собой пояснительный чертеж, иллюстрирующий результат моделирования согласно Примеру 5.

[Фиг. 24] Фиг. 24 представляет собой пояснительный чертеж, иллюстрирующий результат моделирования согласно Примеру 6.

[Фиг. 25] Фиг. 25 представляет собой пояснительный чертеж, иллюстрирующий результат моделирования согласно Примеру 7.

[Фиг. 26] Фиг. 26 представляет собой пояснительный чертеж, иллюстрирующий результат моделирования согласно Сравнительному примеру 1.

[Фиг. 27] Фиг. 27 представляет собой пояснительный чертеж, иллюстрирующий результат моделирования согласно Примеру 8.

[Фиг. 28] Фиг. 28 представляет собой пояснительный чертеж, иллюстрирующий результат моделирования согласно Примеру 9.

[Фиг. 29] Фиг. 29 представляет собой пояснительный чертеж, иллюстрирующий результат моделирования согласно Примеру 10.

[Фиг. 30] Фиг. 30 представляет собой пояснительный чертеж, иллюстрирующий результат моделирования согласно Примеру 11.

[Фиг. 31] Фиг. 31 представляет собой пояснительный чертеж, иллюстрирующий результат моделирования согласно Примеру 12.

[Фиг. 32] Фиг. 32 представляет собой пояснительный чертеж, иллюстрирующий результат моделирования согласно Сравнительному примеру 2.

ОПИСАНИЕ ВАРИАНТОВ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

[0024]

Далее в настоящем документе предпочтительные варианты осуществления настоящего изобретения будут описаны со ссылкой на прилагаемые чертежи. Следует отметить, что в настоящем описании и в сопроводительных чертежах составляющие элементы, имеющие по существу одинаковую функциональную конфигурацию, обозначаются одинаковыми ссылочными символами, и их повторное описание опускается.

[0025]

[1. Первый вариант осуществления]

Сначала будет описан способ производства металлического слитка согласно первому варианту осуществления настоящего изобретения.

[0026]

[1.1. Конфигурация электронно–лучевой плавильной печи]

Сначала со ссылкой на Фиг. 3 будет описана конфигурация электронно–лучевой печи для осуществления способа производства металлического слитка в соответствии с настоящим вариантом осуществления. Фиг. 3 представляет собой схематическую диаграмму, иллюстрирующую конфигурацию электронно–лучевой печи 1 (далее упоминаемой как «ЭЛ–печь 1») в соответствии с настоящим вариантом осуществления.

[0027]

Как показано на Фиг. 3, ЭЛ–печь 1 включает в себя пару частей 10А и 10В подачи сырья (далее упоминаемых в целом как «часть 10 подачи сырья»), множество электронных пушек 20А – 20Е (далее упоминаемых в целом как «электронные пушки 20»), ванну 30 очистки и литейную форму 40. Таким образом, ЭЛ–печь 1 в соответствии с настоящим вариантом осуществления включает в себя одну только ванну 30 очистки в качестве ванны, и рассматриваемая структура ванны упоминается как «короткая ванна». Следует отметить, что хотя способ производства металлического слитка по настоящему изобретению может предпочтительно применяться к ЭЛ–печи 1 с короткой ванной, как показано на Фиг. 3, способ производства металлического слитка по настоящему изобретению также применим к ЭЛ–печи 1А, которая имеет длинную ванну, как показано на Фиг. 1.

[0028]

Ванна 30 очистки (далее упоминаемая как «ванна 30») является устройством для очистки расплавленного металла 5с из металлического сырья 5 (далее упоминаемого как

«сырье 5») и одновременно накопления расплавленного металла 5с, чтобы тем самым удалить примеси, содержащиеся в расплавленном металле 5с. Ванна 30 в соответствии с настоящим вариантом осуществления представляет собой, например, охлаждаемую водой медную ванну, имеющую прямоугольную форму. Часть 36 сливного носка предусматривается в боковой стенке на конце одной стороны в продольном направлении (направлении Y) ванны 30. Часть 36 сливного носка является выходным отверстием для вытекания расплавленного металла 5с из ванны 30 в литейную форму 40.

[0029]

Литейная форма 40 является устройством для охлаждения и отверждения расплавленного металла 5с из сырья 5, чтобы тем самым произвести металлический слиток 50 (например, слиток титана или слиток титанового сплава). Литейная форма 40, например, представляет собой охлаждаемую водой медную литейную форму, имеющую прямоугольный трубчатый вид. Литейная форма 40 располагается под частью 36 сливного носка ванны 30, и охлаждает расплавленный металл 5с, выливающийся в нее из ванны 30, которая находится выше литейной формы 40. В результате расплавленный металл 5с внутри литейной формы 40 постепенно затвердевает в направлении к нижней части литейной формы 40, и формируется твердый слиток 50.

[0030]

Часть 10 подачи сырья представляет собой устройство для подачи сырья 5 в ванну 30. Сырье 5 является, например, титановым сырьем, таким как титановая губка или отходы. В настоящем варианте осуществления, например, как проиллюстрировано на Фиг. 3, пара частей 10А и 10В подачи сырья предусматривается выше пары длинных боковых стенок ванны 30. Твердое сырье 5, подаваемое снаружи, помещается в частях 10А и 10В подачи сырья, и электронные лучи из электронных пушек 20А и 20В излучаются на сырье 5.

[0031]

Таким образом, в настоящем варианте осуществления для подачи сырья 5 в ванну 30 твердое сырье 5 плавится путем излучения электронных лучей на сырье 5 в части 10 подачи сырья, и расплавленное сырье 5 (расплавленный металл) капает в расплавленный металл 5с в ванне 30 с внутренних краев части 10 подачи сырья. Другими словами, сырье 5 подается в ванну 30 путем сначала предварительного плавления сырья 5 снаружи ванны 30, а затем позволения расплавленному металлу капать в расплавленный металл 5с в ванне 30. Линии стекания капель, которые представляют собой положения, в которых расплавленный металл стекает из части 10 подачи сырья на поверхность расплавленного металла 5с в ванне 30, соответствуют линиям 26 подачи, которые будут описаны позже (см. Фиг. 4).

[0032]

Следует отметить, что способ для подачи сырья 5 не ограничивается капанием, описанным в вышеупомянутом примере. Например, твердое сырье 5 может сразу вводиться, как оно есть, в расплавленный металл 5с в ванне 30 из части 10 подачи сырья.

Введенное твердое сырье 5 затем плавится в высокотемпературном расплавленном металле 5с, и тем самым добавляется к расплавленному металлу 5с. В этом случае линии введения, которые представляют собой положения, в которых твердое сырье 5 вводится в расплавленный металл 5с в ванне 30, соответствуют линиям 26 подачи, которые будут описаны позже (см. Фиг. 4).

[0033]

Для осуществления процесса электронно-лучевого плавления электронные пушки 20 излучают электронные лучи на сырье 5 или расплавленный металл 5с. Как показано на Фиг. 3, ЭЛ-печь 1 в соответствии с настоящим вариантом осуществления включает в себя, например, электронные пушки 20А и 20В для плавления твердого сырья 5, которое было подано в часть 10 подачи сырья, электронную пушку 20С для поддержания температуры расплавленного металла 5с в ванне 30, электронную пушку 20D для нагревания расплавленного металла 5с в верхней части внутри литейной формы 40, и электронную пушку 20Е для предотвращения вытекания примесей из ванны 30. Каждая из электронных пушек 20А – 20Е способна управлять положением облучения электронным лучом. Следовательно, электронные пушки 20С и 20Е способны излучать электронные лучи на желаемые положения на поверхности расплавленного металла 5с в ванне 30.

[0034]

Электронные пушки 20А и 20В излучают электронные лучи на твердое сырье 5, размещающееся на части 10 подачи сырья, чтобы тем самым нагреть и расплавить сырье 5. Электронная пушка 20С нагревает расплавленный металл 5с и поддерживает расплавленный металл 5с при предопределенной температуре путем излучения электронного луча в широком диапазоне на поверхность расплавленного металла 5с в ванне 30. Электронная пушка 20D излучает электронный луч на поверхность расплавленного металла 5с в литейной форме 40, чтобы тем самым нагреть расплавленный металл 5с в его верхней части и поддерживать расплавленный металл 5с, который находится в верхней части, при предопределенной температуре, так, чтобы расплавленный металл 5с в верхней части в литейной форме 40 не затвердел. Электронная пушка 20Е излучает электронный луч сфокусированным образом вдоль линии 25 облучения (см. Фиг. 4) на поверхности расплавленного металла 5с в ванне 30 для того, чтобы предотвратить вытекание примесей из ванны 30 в литейную форму 40.

[0035]

Таким образом, настоящий вариант осуществления характеризуется тем, что он предотвращает вытекание примесей за счет, например, излучения (линии излучения) электронного луча сфокусированным образом вдоль линии 25 облучения на поверхности расплавленного металла 5с с использованием электронной пушки 20Е. Эта характеристика будет подробно описана позже. Следует отметить, что в ЭЛ-печи 1 в соответствии с настоящим вариантом осуществления электронная пушка 20Е для линии излучения, показанной на Фиг. 3, обеспечивается отдельно от других электронных пушек 20А – 20D. За счет этого при использовании других электронных пушек 20А – 20D для

плавления сырья 5 и поддержания температуры расплавленного металла 5с одновременно может продолжаться линейное облучение электронной пушкой 20Е, и поэтому уменьшение температуры поверхности расплавленного металла 5с в положении линии облучения может быть предотвращено. Однако настоящее изобретение не ограничивается этим примером. Например, электронный луч может излучаться вдоль линии 25 облучения с использованием одной или множества электронных пушек из существующих электронных пушек 20А и 20В для плавления сырья или электронных пушек 20С и 20D для поддержания температуры расплавленного металла, без дополнительной установки электронной пушки 20Е для линейного облучения. За счет этого количество электронных пушек, устанавливаемых в ЭЛ–печи 1, может быть сокращено, стоимость оборудования может быть уменьшена, а существующие электронные пушки могут быть использованы эффективно.

[0036]

[1.2. Схема способа производства металлического слитка]

Далее со ссылкой на Фиг. 3–5 будет описана схема способа производства металлического слитка в соответствии с настоящим вариантом осуществления. Фиг. 4 представляет собой вид сверху, иллюстрирующий один пример линии 25 облучения и линии 26 подачи в ванне 30 в соответствии с настоящим вариантом осуществления. Фиг. 5 представляет собой вид сверху, иллюстрирующий один пример потока расплавленного металла, который формируется согласно способу производства металлического слитка настоящего варианта осуществления. Следует отметить, что виды сверху ванны 30 на Фиг. 4 и Фиг. 5 соответствуют ванне 30 ЭЛ–печи 1, показанной на Фиг. 3.

[0037]

Проблема, решаемая способом производства металлического слитка в соответствии с настоящим вариантом осуществления, заключается в предотвращении попадания примесей в слиток 50 при его производстве из технически чистого титана или титанового сплава и т.п. путем ингибирования течения примесей, содержащихся в расплавленном металле (расплавленном металле 5с) из твердого сырья, в литейную форму 40 из ванны 30. В соответствии со способом производства металлического слитка настоящего варианта осуществления, в частности, титановое сырье как металлическое сырье берется в качестве объекта, и способ производства металлического слитка решает проблему предотвращения возникновения ситуации, в которой ВНП, которые среди всех примесей, содержащихся в титановое сырье, имеют плотность меньше, чем плотность расплавленного металлического титана (расплавленного титана), попадают в слиток 50 из титана или титанового сплава. Следует отметить, что используемый в настоящем документе термин «титан» или «титановый сплав» относится к металлу, содержащему 50 мас.% или больше титана в качестве элемента.

[0038]

Для того, чтобы решить вышеупомянутую проблему, в способе производства металлического слитка в соответствии с настоящим вариантом осуществления, как

проиллюстрировано на Фиг. 4, сырье 5 подается в расплавленный металл 5с внутри ванны 30 в положениях вдоль линий 26 подачи, которые находятся рядом с боковыми стенками 37А и 37В с длинных сторон ванны 30. Кроме того, электронный луч излучается сфокусированным образом вдоль линий 25 облучения, которые находятся рядом с линиями 26 подачи на поверхности расплавленного металла 5с, который накапливается в ванне 30.

[0039]

Линии 26 подачи (соответствует «линии подачи» настоящего изобретения) являются воображаемыми линиями, представляющими положения, в которых сырье 5 подается снаружи ванны 30 в расплавленный металл 5с в ванне 30. Линии 26 подачи расположены на поверхности расплавленного металла 5с в положениях вдоль соответствующих внутренних поверхностей боковых стенок 37А и 37В ванны 30.

[0040]

В настоящем варианте осуществления расплавленное сырье 5 капает в ванну 30 с внутренних краевых частей части 10 подачи сырья, расположенной в верхней части боковых стенок 37А и 37В с длинных сторон ванны 30, как проиллюстрировано на Фиг. 3. Следовательно, соответствующие линии 26 подачи располагаются на поверхности расплавленного металла 5с в ванне 30 под внутренними краевыми частями части 10 подачи сырья и имеют форму линий, проходящих вдоль внутренней поверхности соответствующих боковых стенок 37А и 37В. Следует отметить, что пока линии 26 подачи имеют форму линий, проходящих вдоль внутренних поверхностей боковых стенок 37А, 37В и 37С ванны 30, линии 26 подачи не обязаны иметь строго прямолинейную форму, и могут, например, иметь форму пунктирной линии, форму точечной линии, криволинейную форму, форму волнистой линии, зигзагообразную форму, форму двойной линии, ленточную форму, форму многоугольной линии и т.п.

[0041]

Линия 25 облучения (соответствует «первой линии облучения» настоящего изобретения) является воображаемой линией, которая представляет собой путь положений, в которых электронный луч (соответствует «первому электронному лучу» настоящего изобретения) излучается сфокусированным образом на поверхность расплавленного металла 5с в ванне 30. Линия 25 облучения располагается вдоль линии 26 подачи сырья 5 на поверхности расплавленного металла 5с. Пока линия 25 облучения имеет форму линии, проходящей вдоль линии 26 подачи, линия 25 облучения не обязана иметь строго прямолинейную форму, и, например, может иметь форму пунктирной линии, форму точечной линии, криволинейную форму, форму волнистой линии, зигзагообразную форму, форму двойной линии, ленточную форму, форму многоугольной линии и т.п.

[0042]

Расположение линии 25 облучения и линии 26 подачи будет теперь описано более подробно. Как проиллюстрировано на Фиг. 4, прямоугольная ванна 30 в соответствии с настоящим вариантом осуществления имеет четыре боковых стенки 37А, 37В, 37С и 37D

(далее могут упоминаться вместе как «боковая стенка (стенки) 37»). Пара боковых стенок 37А и 37В, которые обращены друг к другу в направлении Х, составляют пару длинных сторон ванны 30, и являются параллельными продольному направлению (направлению Y) ванны 30. Кроме того, пара боковых стенок 37С и 37D, которые обращены друг к другу в направлении Y, составляют пару коротких сторон ванны 30, и являются параллельными направлению ширины (направлению X) ванны 30.

[0043]

Часть 36 сливного носка для вытекания расплавленного металла 5с из ванны 30 в литейную форму 40 предусматривается в боковой стенке 37D, которая является одной из коротких сторон. С другой стороны, часть 36 сливного носка не предусматривается в трех боковых стенках 37А, 37В и 37С, которые являются боковыми стенками, отличающимися от боковой стенки 37D. Следовательно, боковая стенка 37D соответствует «первой боковой стенке», в которой предусматривается часть сливного носка, а боковые стенки 37А, 37В и 37С соответствуют «второй боковой стенке (стенкам)», в которой не предусматривается часть 36 сливного носка.

[0044]

В примере, проиллюстрированном на Фиг. 4, две прямолинейные линии 26, 26 подачи, которые являются параллельными друг другу, расположены на поверхности расплавленного металла 5с в ванне 30. В дополнение к этому, две прямолинейные линии 25, 25 облучения, которые являются параллельными друг другу, расположены на внутренней части (ближе к центральной части в направлении ширины (направлении X) ванны 30) линий 26, 26 подачи. Линии 26, 26 подачи располагаются вдоль внутренних поверхностей двух боковых стенок 37А и 37В (вторых боковых стенок) среди четырех боковых стенок ванны 30, в положениях ближе к центральной части в направлении ширины (направлении X) ванны 30, которые отделены предопределенным расстоянием L1 от соответствующих внутренних поверхностей. Линии 25, 25 облучения располагаются вдоль линий 26, 26 подачи в положениях ближе к центральной части в направлении ширины ванны 30, которые отделены предопределенным расстоянием L от соответствующих линий 26, 26 подачи.

[0045]

В настоящем варианте осуществления специальный температурный градиент формируется на поверхности расплавленного металла 5с в ванне 30 путем излучения электронного луча сфокусированным образом вдоль линии 25 облучения на поверхности расплавленного металла 5с, как было упомянуто выше, и тем самым осуществляется управление течением расплавленного металла 5с. Далее будет описано распределение температур на поверхности расплавленного металла 5с в ванне 30.

[0046]

Как правило, в процессе электронно-лучевого плавления для предотвращения застывания расплавленного металла 5с в ванне 30 электронный луч равномерно излучается, например электронной пушкой 20С, на область 23 облучения для удержания

тепла, которая занимает широкую площадь поверхности расплавленного металла 5с, чтобы тем самым поддерживать температуру расплавленного металла 5с в ванне 30. За счет выполнения такого излучения электронного луча для удержания тепла весь расплавленный металл 5с, накопленный в ванне 30, нагревается, и средняя температура поверхности T0 (далее упоминаемая как «температура поверхности расплавленного металла T0») всей поверхности расплавленного металла 5с поддерживается на predetermined уровне. Температура поверхности расплавленного металла T0 находится, например, в диапазоне от 1923 К (точка плавления титанового сплава) до 2323 К, и предпочтительно находится в диапазоне от 1973 К до 2273 К.

[0047]

В настоящем варианте осуществления электронные лучи излучаются на твердое сырье 5 у вышеупомянутой части 10 подачи сырья электронными пушками 20А и 20В, чтобы расплавить сырье 5, и расплавленный металл с высокой температурой стекает на положения линий 26 подачи расплавленного металла 5с в ванне 30, чтобы тем самым подавать сырье 5 в ванну 30. Следовательно, среди всего расплавленного металла 5с в ванне 30, примеси, такие как ВНП, содержащиеся в сырье 5, присутствуют главным образом около линий 26 подачи. Кроме того, поскольку высокотемпературный расплавленный металл подается непрерывно или прерывисто к линиям 26 подачи, область высокой температуры (см. область S1 на Фиг. 6 и Фиг. 7), имеющая температуру поверхности T1 более высокую, чем вышеупомянутая температура поверхности расплавленного металла T0, формируется около линий 26 подачи. Температура поверхности T1 (далее упоминаемая как «температура подачи сырья T1») расплавленного металла 5с на линиях 26 подачи является приблизительно той же самой, что и температура расплавленного металла, который капает из части 10 подачи сырья в ванну 30, и является более высокой, чем вышеупомянутая температура поверхности расплавленного металла T0 ($T1 > T0$). Температура подачи сырья T1 находится, например, внутри диапазона 1923 К – 2423 К, и предпочтительно внутри диапазона 1973 К – 2373 К.

[0048]

В дополнение к этому, в соответствии со способом производства металлического слитка настоящего варианта осуществления, отдельно от излучения вышеупомянутого электронного луча для удержания тепла на область 23 облучения для удержания тепла расплавленного металла 5с, электронный луч излучается сфокусированным образом электронной пушкой 20Е на поверхность расплавленного металла 5с вдоль линии 25 облучения. В частности, положение облучения электронным лучом, излучаемым электронной пушкой 20Е, перемещается по линии 25 облучения на поверхности расплавленного металла 5с. За счет такого концентрированного излучения электронного луча вдоль линии 25 облучения около нее формируется область высокой температуры (см. область S2 на Фиг. 7), имеющая температуру поверхности T2, более высокую, чем вышеупомянутая температура поверхности расплавленного металла T0. Температура поверхности T2 (далее упоминаемая как «температура линии облучения T2»)

расплавленного металла 5с на линии 25 облучения является более высокой, чем вышеупомянутая температура поверхности расплавленного металла T_0 ($T_2 > T_0$). В дополнение к этому, для того, чтобы более надежно подавить вытекание примесей, температура линии облучения T_2 предпочтительно является более высокой, чем вышеупомянутая температура подачи сырья T_1 ($T_2 > T_1 > T_0$). Температура линии облучения T_2 находится, например, внутри диапазона от 1923 К до 2473 К, и предпочтительно находится внутри диапазона 1973 К – 2423 К.

[0049]

Таким образом, в соответствии со способом производства металлического слитка настоящего варианта осуществления, путем излучения электронного луча сфокусированным образом вдоль линии 25 облучения на поверхности расплавленного металла 5с область высокой температуры расплавленного металла 5с также формируется около линии 25 облучения, а не только вблизи линий 26 подачи. За счет этого, как проиллюстрировано на Фиг. 5, в наружном слое расплавленного металла 5с поток 61 расплавленного металла (соответствует «первому потоку расплавленного металла» настоящего изобретения) может быть принудительно сформирован из линии 25 облучения к линиям 26 подачи. В частности, сформированный поток 61 расплавленного металла может постоянно поддерживаться путем поддержания температуры расплавленного металла 5с выше температуры T_0 в произвольных положениях линии 25 облучения.

[0050]

Посредством потока 61 расплавленного металла можно управлять течением примесей, таких как ВНП, которые присутствуют в большом количестве около линий 26 подачи, и можно предотвратить течение примесей к части 36 сливного носка. В частности, посредством потока 61 расплавленного металла, примеси, такие как ВНП, которые плавают на поверхности расплавленного металла 5с в областях около линий 26 подачи, перемещаются к боковым стенкам 37А и 37В ванны 30, и таким образом примеси, такие как ВНП, могут быть захвачены гарнисажем 7, образующимся на внутренних поверхностях боковых стенок 37А и 37В. Кроме того, путем излучения электронного луча вдоль линий 25 облучения для увеличения температуры линии облучения T_2 , можно ускорить растворение азотированного титана и т.п., который является главным компонентом ВНП, плавающих в расплавленном металле 5с около линии 25 облучения.

[0051]

Таким образом, в способе производства металлического слитка в соответствии с настоящим вариантом осуществления электронные лучи излучаются вдоль линий 25, 25 облучения, которые находятся ближе к центральной части (с внутренней стороны) ванны 30 относительно линий 26, 26 подачи. За счет этого область высокой температуры расплавленного металла 5с формируется около каждой линии 25 облучения, и посредством потока 61 расплавленного металла из областей высокой температуры примеси, такие как ВНП, которые присутствуют около линий 26 подачи, начинают течь к боковым стенкам 37А и 37В, предотвращая таким образом перемещение примесей к части

36 сливного носка. Следовательно, вытекание примесей из ванны 30 в литейную форму 40 может быть предотвращено.

[0052]

[1.3. Течение расплавленного металла, создаваемое линейным излучением]

Далее течение расплавленного металла 5с внутри ванны 30, создаваемое линейным излучением электронного луча, будет описано подробно со ссылками на Фиг. 5–7. Фиг. 6А и Фиг. 6В представляют собой продольное сечение и вид сверху ванны, соответственно, которые иллюстрируют состояние потока расплавленного металла 5с, когда электронный луч не излучается вдоль линий 25 облучения, в качестве сравнительного примера настоящего варианта осуществления. Фиг. 7 представляет собой продольное сечение ванны, которое иллюстрирует состояние потока расплавленного металла 5с, когда электронный луч излучается вдоль линий 25 облучения согласно способу производства металлического слитка настоящего варианта осуществления.

[0053]

Как было описано выше, в настоящем варианте осуществления части 10А и 10В подачи сырья расположены выше боковых стенок 37А и 37В с длинных сторон ванны 30, соответственно, и электронные лучи излучаются электронными пушками 20А и 20В на твердое сырье 5 на частях 10А и 10В подачи сырья, чтобы тем самым расплавить сырье 5. Расплавленное сырье 5 капает на положения линий 26, 26 подачи расплавленного металла 5с в ванне 30 из частей 10А и 10В подачи сырья. Таким образом, в настоящем варианте осуществления сырье 5 подается в ванну 30 путем капания расплавленного металла сырья 5 на расплавленный металл 5с в ванне 30. В этой связи линии 26 подачи в соответствии с настоящим вариантом осуществления соответствуют воображаемым линиям (линиям стекания капель), которые представляют собой положения, в которых расплавленный металл сырья 5 капает на поверхность расплавленного металла 5с.

[0054]

Расплавленный металл 5с, который накапливается в ванне 30, очищается, находясь в ванне 30, и после этого вытекает из части 36 сливного носка в литейную форму 40. Как проиллюстрировано на Фиг. 5, в центральной части в направлении ширины (направлении Х) в ванне 30 поток расплавленного металла 60, который течет вдоль продольного направления (направления Y) ванны 30, формируется из окрестности боковой стенки 37С, которая является одной из коротких сторон, и течет к части 36 сливного носка. Посредством этого потока расплавленного металла 60 расплавленный металл 5с, который накапливается внутри ванны 30, вытекает из части 36 сливного носка в литейную форму 40.

[0055]

Кроме того, как проиллюстрировано на Фиг. 5–7, затвердевший слой (называемый «гарнисажем 7») расплавленного металла 5с формируется на внутренней поверхности боковых стенок 37 и на поверхности дна ванны 30. Путем накапливания расплавленного металла 5с в ванне 30 возможно удалить примеси, содержащиеся в расплавленном

металле 5с, за счет использования гарнисажа 7 и т.п. Примеси категоризируются на ВВП (не показаны), которые имеют высокую относительную плотность по сравнению с расплавленным металлом 5с, и ВНП 8, которые имеют низкую относительную плотность по сравнению с расплавленным металлом 5с. ВВП, которые имеют высокую относительную плотность, оседают в расплавленном металле 5с и прилипают к гарнисажу 7, который образуется на поверхности дна ванны 30, и следовательно вероятность вытекания ВВП в литейную форму 40 из части 36 сливного носка становится низкой. С другой стороны, большая часть ВНП 8, которые имеют низкую относительную плотность, всплывает на поверхность расплавленного металла 5с и течет вместе с потоком в наружном слое расплавленного металла 5с. Следовательно, предпочтительно управлять потоком наружного слоя расплавленного металла 5с так, чтобы ВНП 8, всплывающие в расплавленном металле 5с ванны 30, не вытекали из части 36 сливного носка в литейную форму 40.

[0056]

Следовательно, в способе производства металлического слитка в соответствии с настоящим вариантом осуществления электронные лучи излучаются сфокусированным образом вдоль линий 25, 25 облучения, которые находятся с внутренней стороны относительно линий 26, 26 подачи на поверхности расплавленного металла 5с в ванне 30. За счет этого конвекция Марангони создается температурным градиентом на поверхности расплавленного металла 5с, и, как проиллюстрировано на Фиг. 5 и Фиг. 7, поток наружного слоя расплавленного металла 5с (первый поток 61 расплавленного металла) к линиям 26 подачи от линии 25 облучения образуется в наружном слое расплавленного металла 5с. За счет этого ВНП 8, которые присутствуют в большом количестве около линий 26 подачи, начинают течь к боковым стенкам 37А и 37В ванны 30, смежным с линиями 26 подачи, и улавливаются гарнисажем 7, образующимся на внутренней поверхности боковых стенок 37А и 37В. Этот принцип более подробно описывается ниже.

[0057]

Когда температурный градиент возникает в наружном слое текучей среды, возникает также градиент поверхностного натяжения текучей среды, который вызывает образование конвекции в текучей среде. Такую конвекцию в текучей среде называют «конвекцией Марангони». В том случае, когда текучая среда представляет собой расплавленный титан или расплавленный титановый сплав, конвекция Марангони представляет собой поток от области высокой температуры к области низкой температуры текучей среды. Причина этого заключается в том, что поверхностное натяжение расплавленного титана и расплавленного титанового сплава уменьшается при повышении температуры.

[0058]

Здесь в качестве сравнительного примера настоящего варианта осуществления, как проиллюстрировано на Фиг. 6А, будет рассмотрен случай, в котором электронный луч не излучается на линию 25 облучения, и температура расплавленного металла (температура

подачи сырья T1), который капает на линии 26 подачи, является более высокой, чем температура поверхности T0 расплавленного металла, который уже накоплен в ванне 30. В этом случае область S1 около линий 26 подачи, на которые капает расплавленное сырье 5 (расплавленный металл), является областью высокой температуры, в которой температура является более высокой, чем температура расплавленного металла 5с в других областях. Следовательно, как проиллюстрировано на Фиг. 6А, поскольку расплавленный металл 5с в области S1 течет от соответствующей линии 26 подачи как в направлении к центральной части в направлении ширины (направлении X) ванны 30, так и в направлении к боковой стенке 37В, потоки 62 и 63 расплавленного металла образуются в наружном слое расплавленного металла 5с.

[0059]

Таким образом, как проиллюстрировано на Фиг. 6А и Фиг. 6В, ВНП 8, содержащиеся в расплавленном металле, который капает на линии 26 подачи, перемещаются с потоком 62 расплавленного металла к центральной части в направлении ширины (направлении X) ванны 30, а также перемещаются с потоком 63 расплавленного металла к боковой стенке 37В ванны 30. Как проиллюстрировано на Фиг. 6В, потоки 62, 62 расплавленного металла, которые текут к центральной части ванны 30 от каждой из левой и правой линий 26, 26 подачи, сталкиваются в центральной части в направлении ширины ванны 30, формируя тем самым поток расплавленного металла 60 к части 36 сливного носка вдоль продольного направления (направления Y) ванны 30. В результате ВНП 8, всплывающие в расплавленном металле 5с, также перемещаются с потоком 60 расплавленного металла к части 36 сливного носка и вытекают из части 36 сливного носка в литейную форму 40. Следовательно, для того, чтобы гарантировать, что примеси, такие как ВНП 8, не вытекают из части 36 сливного носка в литейную форму 40, предпочтительно управлять потоком наружного слоя расплавленного металла 5с так, чтобы ВНП 8, которые присутствуют около линий 26 подачи, не перемещались вместе с потоком 62 расплавленного металла, показанным на Фиг. 6А и Фиг. 6В, и текли к центральной части в направлении ширины ванны 30.

[0060]

Следовательно, в настоящем варианте осуществления, как проиллюстрировано на Фиг. 5 и Фиг. 7, электронный луч излучается сфокусированным образом вдоль линий 25 облучения, которые располагаются ближе к центральной части ванны 30 относительно линий 26 подачи. За счет этого температура поверхности T2 расплавленного металла 5с в области S2 около каждой линии 25 облучения увеличивается, и создается градиент температуры поверхности расплавленного металла 5с в лентообразной области S3 между каждой линией 25 облучения и соответствующей линией 26 подачи. В результате в наружном слое расплавленного металла 5с возникает конвекция Марангони в расплавленном металле 5с (первый поток 61 расплавленного металла) от линий 25 облучения к внутренней поверхности боковых стенок 37А и 37В. Посредством потока 61 расплавленного металла ВНП 8, которые плавают на поверхности расплавленного металла

5с около линий 26 подачи, принудительно уносятся к боковым стенкам 37А и 37В, и их продвижение к части 36 сливного носка может быть предотвращено. Соответственно, в областях между линиями 25 облучения и боковыми стенками 37А и 37В ВНП 8, содержащиеся в расплавленном металле, который капал на положения линий 26 подачи, перемещаются вместе с соответствующими потоками 61 расплавленного металла, текут к боковым стенкам 37А и 37В и прилипают к гарнисажу 7, образуемому на внутренних поверхностях боковых стенок 37А и 37В, и тем самым улавливаются.

[0061]

Течение расплавленного металла 5с, создаваемое с помощью линейного излучения, которое было упомянуто выше, будет теперь описано более подробно. Фиг. 5 и Фиг. 7 иллюстрируют поток расплавленного металла 5с в том случае, когда температура поверхности Т2 расплавленного металла 5с на линии 25 облучения (температура линии облучения Т2) является более высокой, чем температура поверхности Т1 расплавленного металла 5с на линии 26 подачи (температура подачи сырья Т1).

[0062]

Как было описано выше, в том случае, когда расплавленный металл 5с является расплавленным титаном, конвекция Марангони представляет собой поток от области высокой температуры к области низкой температуры расплавленного металла 5с. Когда электронный луч излучается сфокусированным образом вдоль линии 25 облучения, область S2 около линии 25 облучения, на которую излучается электронный луч, нагревается и становится областью высокой температуры. Соответственно, конвекция Марангони возникает от области S2 к области низкой температуры вокруг области S2. В результате, как проиллюстрировано на Фиг. 7, в наружном слое расплавленного металла 5с формируется поток расплавленного металла 64 от линии 25 облучения к центральной части в направлении ширины ванны 30, и поток 61 расплавленного металла формируется от линии 25 облучения к боковой стенке 37В через линию 26 подачи. С другой стороны, в глубоком слое расплавленного металла 5с формируется поток расплавленного металла 65 к центральной части ванны 30 от боковой стенки 37В в концевой части в направлении ширины (направлении X) ванны 30.

[0063]

В этом случае предпочтительно, чтобы в наружном слое расплавленного металла 5с температурное распределение формировалось таким образом, чтобы температура линии облучения Т2 была более высокой, чем температура подачи сырья Т1, и температура поверхности расплавленного металла 5с постепенно уменьшалась от линии 25 облучения к линии 26 подачи. За счет реализации такого температурного распределения, как проиллюстрировано на Фиг. 7, в наружном слое расплавленного металла 5с не образуется поток расплавленного металла от линий 26 подачи к центральной части ванны 30 (соответствует потоку 62 расплавленного металла на Фиг. 6А и Фиг. 6В), и поток 61 расплавленного металла от линии 25 облучения к линии 26 подачи может пересекать линию 26 подачи и достигать внутренней поверхности боковой стенки

37В.

[0064]

В результате, как проиллюстрировано на Фиг. 7, ВНП 8, которые застаиваются около линии 26 подачи, уносятся к боковой стенке 37В из области S1 около линии 26 подачи потоком 61 расплавленного металла, и поэтому ВНП 8 не текут к центральной части ванны 30. Следует отметить, что ВНП 8, которые содержатся в расплавленном металле, капающем на линию 26 подачи, временно распределяются к обеим сторонам в направлении ширины (направлении X) от линии 26 подачи благодаря эффекту столкновения с поверхностью расплавленного металла 5с, когда расплавленный металл капает на расплавленный металл 5с. Однако после этого ВНП 8 принудительно уносятся к боковой стенке 37В из области S1 около линии 26 подачи вышеупомянутым потоком 61 расплавленного металла.

[0065]

В большинстве случаев расстояние L1 между линией 26 подачи, на которую капает сырье 5, и боковой стенкой 37В является малым. Следовательно, если ВНП 8, которые плавают около линии 26 подачи, перемещаются к боковой стенке 37В ванны 30 потоком 61 расплавленного металла, ВНП 8 легко прилипают к гарнисажу 7, который образуется на внутренней поверхности боковой стенки 37В. Соответственно, за счет формирования потока 61 расплавленного металла в наружном слое расплавленного металла 5с с помощью линейного излучения электронного луча ВНП 8, которые плавают в области S1 около линии 26 подачи, могут эффективно улавливаться гарнисажем 7 на внутренней поверхности боковой стенки 37В, и тем самым удаляться из расплавленного металла 5с.

[0066]

Кроме того, источник загрязнения ВНП 8, которые плавают в расплавленном металле 5с в ванне 30, является расплавленным металлом, который капает в ванну 30 снаружи, и по меньшей мере одна часть ВНП 8, содержащихся в расплавленном металле, который капает на линии 26 подачи, растворяется в расплавленном металле 5с или прилипает к гарнисажу 7, находясь внутри ванны 30. Следовательно, считается, что почти никаких ВНП 8 не плавают в расплавленном металле 5с в тех областях, которые отличаются от окрестностей линий 26 подачи. Соответственно, как проиллюстрировано на Фиг. 7, в области S2 около линии 25 облучения, на которую электронный луч излучается сфокусированным образом, нет почти никаких плавающих ВНП 8, и ВНП 8 не содержатся в потоке расплавленного металла 64 от области S2 к центральной части в направлении ширины ванны 30. Как проиллюстрировано на Фиг. 5, поток расплавленного металла 64 в направлении X изменяет направление у центральной части в направлении ширины ванны 30 и становится потоком 60 расплавленного металла в направлении Y к части 36 сливного носка, и в потоке 60 расплавленного металла ВНП 8 также не содержатся. Следовательно, проблемы не возникает, даже если поток 60 расплавленного металла выпускается из части 36 сливного носка в литейную форму 40 в том состоянии, как он есть.

[0067]

[1.4. Расположение линии облучения]

Далее будет подробно описано расположение линии 25 облучения, вдоль которой электронный луч излучается сфокусированным образом.

[0068]

В соответствии со способом производства металлического слитка настоящего варианта осуществления, как проиллюстрировано на Фиг. 4, электронные лучи излучаются сфокусированным образом на линии 25, 25 облучения, которые расположены ближе к центральной части в направлении ширины (направлении X) ванны 30 относительно линий 26, 26 подачи. Линии 26 подачи являются воображаемыми линиями, представляющими положения, в которые расплавленный металл сырья 5 капает в расплавленный металл 5с в ванне 30. Линия 25 облучения является воображаемой линией, которая соответствует пути перемещения электронного луча, который испускается электронной пушкой 20Е для линейного облучения.

[0069]

С точки зрения надежного предотвращения вытекания примесей посредством линейного облучения предпочтительно, чтобы линии 26, 26 подачи имели прямолинейную форму и были по существу параллельны внутренней поверхности боковых стенок 37А и 37В, которые являются парой длинных сторон ванны 30. В дополнение к этому, каждая линия 25 облучения предпочтительно имеет прямолинейную форму и является по существу параллельной каждой линии 26 подачи.

[0070]

Здесь термин «по существу параллельно» относится не только к тому случаю, когда соответствующие два объекта являются строго параллельными (угловая разность равна 0°), но также включает в себя все случаи, в которых угловая разность между соответствующими двумя объектами не превышает некоторого предопределенного угла. В качестве конкретного примера, если угловая разность между линиями 26 подачи и внутренними поверхностями боковых стенок 37А и 37В ванны 30 составляет не более 6° , получается эффект настоящего изобретения. Однако это не относится к тому случаю, когда линии 26 подачи являются слишком близкими к боковым стенкам 37А и 37В, в частности к тому случаю, когда линии 26 подачи отстоят приблизительно на 5 мм или меньше от боковых стенок 37А и 37В, и таким образом возникает затруднение для подачи расплавленного металла. Кроме того, что касается линий 25 облучения, эффект настоящего изобретения может быть получен, если их угловая разность с соответствующими линиями 26 подачи не будет превышать 4° . Однако это не относится к тому случаю, когда соответствующая линия 25 облучения является слишком близкой к соответствующей линии 26 подачи, в частности к тому случаю, когда линия 25 облучения отстоит приблизительно на 5 мм или меньше от линии 26 подачи, и таким образом возникает затруднение для формирования потока 61 расплавленного металла, что будет описано позже.

[0071]

В способе производства металлического слитка в соответствии с настоящим вариантом осуществления, как проиллюстрировано на Фиг. 5, за счет излучения электронных лучей сфокусированным образом вдоль линий 25 облучения создается конвекция Марангони (поток 61 расплавленного металла) от линий 25 облучения к линиям 26 подачи. Потоки 62 расплавленного металла от каждой из линий 26 подачи к центральной части ванны 30 отодвигаются обратно к боковым стенкам 37А и 37В ванны 30 потоком 61 расплавленного металла. При этом предпочтительным образом установить расположение линий 26 подачи и линий 25 облучения так, чтобы потоки 62 расплавленного металла от линий 26 подачи к центральной части ванны 30 не проходили через линии 25 облучения и текли к центральной части ванны 30.

[0072]

Следовательно, в настоящем варианте осуществления, как проиллюстрировано на Фиг. 4, линии 26 подачи имеют прямолинейную форму и являются по существу параллельными внутренней поверхности боковых стенок 37А и 37В на длинной стороне ванны 30, а линии 25 облучения имеют прямолинейную форму и являются по существу параллельными линиям 26 подачи. За счет этого, независимо от положения в продольном направлении (направлении Y) ванны 30, расстояние L1 между внутренней поверхностью боковой стенки 37А или 37В и соответствующей линией 26 подачи является приблизительно постоянным, и расстояние L между каждой линией 25 облучения и соответствующей линией 26 подачи является приблизительно постоянным. Соответственно, потоки 61 расплавленного металла в направлении X от линий 25 облучения к линиям 26 подачи формируются приблизительно одинаково в продольном направлении (направлении Y) ванны 30. Следовательно, потоками 62 расплавленного металла от линий 26 подачи к центральной части ванны 30 можно равномерно управлять с помощью потоков 61 расплавленного металла через всю область в направлении Y линий 26 подачи. Следовательно, возникновение ситуации, в которой потоки 62 расплавленного металла пересекают линии 25 облучения и текут к центральной части в направлении ширины (направлении X) ванны 30, может быть более надежно предотвращено.

[0073]

Далее будет описано расстояние L между каждой линией 25 облучения и соответствующей линией 26 подачи. Как проиллюстрировано на Фиг. 5, в пространстве между линией 26 подачи и центральной частью в направлении ширины ванны 30 линия 25 облучения располагается в положении, которое отделено от линии 26 подачи предопределенным расстоянием L. В большинстве случаев расстояние L определяется температурой подачи сырья T1 и условиями излучения электронного луча, который излучается вдоль линии 25 облучения и т.п., и, например, расстояние L предпочтительно находится внутри диапазона 5–35 мм. Таким образом, ВНП 8, которые застаиваются около линий 26 подачи, благоприятным образом переносятся к боковым стенкам 37А и 37В потоком 61 расплавленного металла от линии 25 облучения, и тем самым могут быть уловлены гарнисажом 7.

[0074]

Если расстояние L составляет менее 5 мм, то линия 25 облучения будет слишком близкой к линии 26 подачи, и область высокой температуры S_2 и область высокой температуры S_1 , проиллюстрированные на Фиг. 7, будут накладываться друг на друга. Следовательно, возникнет вероятность того, что станет затруднительным сформировать поток 61 расплавленного металла от линии 25 облучения к линии 26 подачи, и что ВНП 8 из окрестностей линии 26 подачи будут течь к части 36 сливного носка. С другой стороны, если расстояние L составляет более 35 мм, то поток 61 расплавленного металла от линии 25 облучения к линии 26 подачи ослабнет до того, как он достигнет линии 26 подачи. Следовательно, станет затруднительным заставить ВНП 8 из окрестностей каждой линии 26 подачи течь к боковым стенкам 37А и 37В, и появится вероятность того, что в лентообразной области S_3 между линией 25 облучения и линией 26 подачи ВНП 8 будут течь к части 36 сливного носка. Соответственно для того, чтобы подходящим образом отодвинуть обратно поток 62 расплавленного металла посредством потока 61 расплавленного металла, предпочтительно, чтобы расстояние L находилось внутри диапазона 5–35 мм.

[0075]

Кроме того, как проиллюстрировано на Фиг. 4 и Фиг. 5, предпочтительно, чтобы линии 25 облучения были более длинными, чем линии 26 подачи, и чтобы два конца каждой линии 25 облучения располагались на внешней стороне в направлении прохождения соответствующей линии 26 подачи относительно двух концов линии 26 подачи, соответственно (в примере, проиллюстрированном на чертежах, на внешней стороне в продольном направлении (направлении Y) ванны 30). За счет этого, поскольку каждая линия 25 облучения покрывает соответствующую линию 26 с запасом в направлении Y , поток 62 расплавленного металла, который течет в направлении X от каждой линии 26 подачи, может быть подавлен таким образом, что поток 62 расплавленного металла не будет обходить два конца в направлении Y соответствующей линии 25 облучения и течь к центральной части ванны 30.

[0076]

[1.5. Настройки электронного луча для линейного облучения]

Далее будут описаны настройки электронного луча для линейного облучения (первого электронного луча), который излучается сфокусированным образом вдоль вышеупомянутой линии 25 облучения.

[0077]

Для того, чтобы отодвинуть обратно поток 62 расплавленного металла от линий 26 подачи (см. Фиг. 6А и Фиг. 6В) к боковой стенке 37В ванны 30 посредством потока 61 расплавленного металла от линии 25 облучения (см. Фиг. 7), как было упомянуто выше, предпочтительно подходящим образом задавать условия облучения, такие как количество передаваемого тепла, скорость сканирования и распределение теплового потока электронного луча для линейного облучения.

[0078]

Количество передаваемого тепла [Вт] электронного луча является параметром, который влияет на увеличение температуры расплавленного металла 5с на линии 25 облучения, а также на скорость потока конвекции Марангони (потока 61 расплавленного металла), который образуется благодаря рассматриваемому увеличению температуры. Если количество передаваемого тепла электронного луча является малым, поток 61 расплавленного металла, который преодолевает поток 62 расплавленного металла от линий 26 подачи, не может быть сформирован. Соответственно, чем больше количество передаваемого тепла электронного луча, тем лучше, и например, количество передаваемого тепла может находиться в диапазоне 0,15–0,60 [МВт].

[0079]

Скорость сканирования [м/с] электронного луча является параметром, который влияет на скорость вышеупомянутого потока 61 расплавленного металла. При излучении электронного луча вдоль линии 25 облучения линия 25 облучения на поверхности расплавленного металла 5с многократно сканируется электронным лучом, испускаемым из электронной пушки 20Е. Если скорость сканирования электронного луча при этом будет низкой, то на линии 25 облучения будут возникать места, которые не облучаются электронным лучом в течение длительного времени. В этих местах температура поверхности расплавленного металла 5с быстро уменьшится, и скорость потока 61 расплавленного металла, который возникает в этих местах, также уменьшится. В таком случае будет трудно подавить поток 62 расплавленного металла от линий 26 подачи посредством потока 61 расплавленного металла, и возможность того, что поток 62 расплавленного металла пройдет через линию 25 облучения, увеличится. Следовательно, скорость сканирования электронного луча предпочтительно является настолько высокой, насколько это возможно, и, например, находится внутри диапазона 1,0–20,0 [м/с].

[0080]

Распределение создаваемого электронным лучом теплового потока на поверхности расплавленного металла 5с является параметром, который влияет на количество тепла, передаваемого расплавленному металлу 5с электронным лучом. Распределение теплового потока соответствует размеру апертуры электронного луча. Чем меньше апертура электронного луча, тем больше степень крутизны распределения теплового потока, передаваемого расплавленному металлу 5с. Распределение теплового потока на поверхности расплавленного металла 5с, например, описывается следующей Формулой (1) (см., например, Непатентный документ 1). Следующая Формула (1) показывает, что тепловой поток экспоненциально ослабевает в соответствии с расстоянием от пятна электронного луча.

[0081]

[Выражение 1]

$$q(t, x, y) = q_0 \exp\left(-\frac{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

$$\iint_{\text{all surface}} q dx dy = Q \quad \dots (2)$$

[0082]

где (x, y) представляет положение поверхности расплавленного металла, (x₀, y₀) представляет пятно электронного луча, и σ представляет среднеквадратичное отклонение распределения теплового потока. В дополнение к этому, как проиллюстрировано в вышеприведенной Формуле (2), количество передаваемого тепла Q от электронной пушки равно полной сумме теплового потока q по всей поверхности расплавленного металла 5с внутри ванны 30. Что касается этих параметров, например, посредством моделирования теплового потока и т.п. их значения могут быть определены и заданы так, чтобы создать потоки 62 расплавленного металла, которые текут от линий 26 подачи к центральной части ванны 30, чтобы течь к боковым стенкам 37А и 37В ванны 30 за счет конвекции Марангони, которая создается излучением электронного луча вдоль линий 25 облучения.

[0083]

При этом, если скорость потоков 61 расплавленного металла от линий 25 облучения к линиям 26 подачи больше, чем скорость потоков 62 расплавленного металла от линий 26 подачи к центральной части ванны 30, потоки 61 расплавленного металла могут более надежно остановить потоки 62 расплавленного металла и могут отодвинуть потоки 62 расплавленного металла обратно к внутренним поверхностям боковых стенок 37А и 37В ванны 30.

[0084]

Следовательно, выгодно устанавливать условия излучения электронного луча для линейного облучения так, чтобы, как проиллюстрировано на Фиг. 7, температура (температура линии облучения T2) области высокой температуры S2 около линии 25 облучения становилась более высокой, чем температура (температура подачи сырья T1) области высокой температуры S1 около линии 26 подачи. За счет этого разность температур между температурой линии облучения T2 и температурой поверхности расплавленного металла T0 может быть сделана больше, чем разность температур между температурой подачи сырья T1 и температурой поверхности расплавленного металла T0, и, следовательно, поток 61 расплавленного металла от линии 25 облучения к линии 26 подачи может быть усилен.

[0085]

Следует отметить, что вышеупомянутые условия излучения, такие как количество передаваемого тепла, скорость сканирования и распределение теплового потока электронного луча для линейного облучения ограничиваются характеристиками оборудования, которое излучает электронный луч. Соответственно, при задании условий излучения электронного луча выгодно делать количество передаваемого тепла максимально большим, скорость сканирования максимально высокой, а распределение теплового потока максимально узким (т.е. делать апертуру электронного луча как можно меньше) в пределах диапазона характеристик оборудования. Кроме того, излучение

электронного луча по линии 25 облучения может выполняться единственной электронной пушкой или множеством электронных пушек. В дополнение к этому, в качестве электронной пушки для описанного здесь линейного облучения может использоваться электронная пушка 20Е, предназначенная исключительно для линейного облучения (см. Фиг. 3), или альтернативно для линейного облучения могут использоваться электронные пушки, предназначенные для других целей, такие как электронные пушки 20А и 20В для плавления сырья или электронные пушки 20С и 20D для поддержания температуры расплавленного металла (см. Фиг. 3).

[0086]

[1.6. Температурный градиент $\Delta T/L$]

Далее влияние, которое температурный градиент $\Delta T/L$ между линиями 25 облучения и линиями 26 подачи оказывает на течение расплавленного металла 5с в ванне 30, будет описано со ссылками на Фиг. 5, Фиг. 8 и Фиг. 9.

[0087]

Сила вышеупомянутого потока 61 расплавленного металла, текущего от каждой линии 25 облучения к соответствующей линии 26 подачи, изменяется в зависимости от температурного градиента $\Delta T/L$ между линией 25 облучения и соответствующей линией 26 подачи. Здесь температурный градиент $\Delta T/L$ [К/мм] представлен нижеприведенной Формулой (А).

[0088]

$$\Delta T/L = (T_2 - T_1)/L \text{ (А)}$$

где T_1 : температура поверхности расплавленного металла 5с на линии 26 подачи (температура подачи сырья) [К]

T_2 : температура поверхности расплавленного металла 5с на линии 25 облучения (температура линейного облучения) [К]

L : расстояние между линией 25 облучения и линией 26 подачи на поверхности расплавленного металла 5с [мм]

[0089]

Температурный градиент $\Delta T/L$ предпочтительно составляет $-2,70$ [К/мм] или больше ($\Delta T/L \geq -2,70$ К/мм), и более предпочтительно $0,00$ [К/мм] или больше ($\Delta T/L \geq 0,00$ К/мм). Таким образом, поток 61 расплавленного металла, который течет от линии 25 облучения к линии подачи 26, может быть подходящим образом сформирован. Следовательно, в лентообразной области S3 между линией 25 облучения и линией 26 подачи можно предотвратить течение примесей, таких как ВНП 8, плавающих около линий 26 подачи, к части 36 сливного носка, и количество примесей, вытекающих из части 36 сливного носка, может быть выгодно подавлено. Причина этого подробно описывается ниже.

[0090]

(1) Случай, когда « $\Delta T/L \geq 0,00$ »

Сначала случай, когда температурный градиент $\Delta T/L$ равен $0,00$ [К/мм] или

больше, будет описан со ссылкой на Фиг. 5. В этом случае температура линии облучения T_2 увеличивается до температуры, которая равна или выше температуры подачи сырья T_1 ($T_2 \geq T_1 > T_0$), и $\Delta T/L$ также увеличивается в достаточной степени.

[0091]

Соответственно, как проиллюстрировано на Фиг. 5, в лентообразных областях S_3 между линиями 25 облучения и линиями 26 подачи потоки 61 расплавленного металла, которые текут от линий 25 облучения к линиям 26 подачи, преобладают над потоками 62 расплавленного металла, которые текут от линий 26 подачи к линиям 25 облучения (см. Фиг. 6А и Фиг. 6В). Следовательно, потоки 61 расплавленного металла, которые текут от линий 25 облучения и пересекают линии 26 подачи, чтобы течь к внутренним поверхностям боковых стенок 37А и 37В, могут быть сформированы подходящим образом. Соответственно, посредством потоков 61 расплавленного металла можно заставить ВНП 8 в окрестностях линий 26 подачи подходящим образом течь к боковым стенкам 37А и 37В и надежно улавливаться гарнисажем 7 на внутренних поверхностях боковых стенок 37А и 37В, и тем самым удалять их из расплавленного металла 5с (см. Фиг. 7). Следовательно, если $\Delta T/L \geq 0,00$ К/мм, поскольку можно подходящим образом предотвратить вытекание примесей, таких как ВНП 8, из части 36 сливного носка, количество примесей, вытекающих из части 36 сливного носка, может быть в значительной степени уменьшено, например до 0,1% или меньше, по сравнению с тем случаем, когда электронные лучи не излучаются вдоль линий 25 облучения. В этом случае количество вытекающих примесей представляет собой значение, получаемое путем подсчета массового количества примесей, содержащихся в расплавленном металле 5с, которое вытекает из части 36 сливного носка за единицу времени.

[0092]

(2) Случай, когда « $-2,70 \leq T/L < 0,00$ »

Далее случай, когда температурный градиент $\Delta T/L$ составляет $-2,70$ [К/мм] или больше и меньше чем $0,00$ [К/мм], будет описан со ссылкой на Фиг. 8. В этом случае, хотя температура линии облучения T_2 увеличивается до температуры, которая является более высокой, чем температура поверхности расплавленного металла T_0 ($T_2 > T_0$), температура линии облучения T_2 является более низкой, чем температура подачи сырья T_1 , и $\Delta T/L$ также меньше нуля.

[0093]

Соответственно, как проиллюстрировано на Фиг. 8, в лентообразных областях S_3 между линиями 25 облучения и линиями 26 подачи потоки 62 расплавленного металла, которые текут от линий 26 подачи к линиям 25 облучения, и потоки 61 расплавленного металла, которые текут от линий 25 облучения к линиям 26 подачи, становятся равными друг другу. Следовательно, в лентообразных областях S_3 в некоторых случаях формируется поток 66 расплавленного металла, который течет в направлении Y к части 36 сливного носка. Однако, поскольку потоки 62 расплавленного металла от линий 26 подачи могут быть подавлены потоками 61 расплавленного металла от линий 25 облучения,

можно предотвратить ситуацию, когда потоки 62 расплавленного металла пересекают линии 25 облучения и текут к центральной части в направлении ширины ванны 30. ВНП 8, которым помешали войти в центральную часть, перемещаются вместе с потоком 66 расплавленного металла через лентообразную область S3 и постепенно продвигаются к части 36 сливного носка. Поскольку лентообразная область S3 располагается между линией 26 подачи с температурой T_1 и линией 25 облучения с температурой T_2 , температура в лентообразной области S3 является более высокой, чем T_0 . Следовательно, некоторые из ВНП 8 растворяются во время их нахождения в лентообразной области S3. Следовательно, если $\Delta T/L \geq -2,70$ К/мм, поскольку можно предотвратить вытекание примесей, таких как ВНП 8, из части 36 сливного носка, количество примесей, вытекающих из части 36 сливного носка, может быть уменьшено, например до 1% или меньше, по сравнению с тем случаем, когда электронные лучи не излучаются вдоль линий 25 облучения.

[0094]

(3) Случай, когда « $\Delta T/L < -2,70$ »

Далее случай, когда температурный градиент $\Delta T/L$ составляет менее $-2,70$ [К/мм], будет описан со ссылкой на Фиг. 9. В этом случае температура линии облучения T_2 становится более низкой, чем температура подачи сырья T_1 ($T_1 > T_2 > T_0$), и $\Delta T/L$ также становится отрицательной величиной. Следовательно, что касается потоков 61 расплавленного металла, которые текут от линий 25 облучения к линиям 26 подачи, в зависимости от положений облучения (положения в направлении Y) электронными лучами относительно линий 25 облучения могут возникать положения, в которых потоки 61 расплавленного металла формируются, и положения, в которых потоки 61 расплавленного металла не формируются.

[0095]

В частности, как проиллюстрировано на Фиг. 9, в каждой из лентообразных областей S3 между линиями 25 облучения и линиями 26 подачи формируются как поток 61 расплавленного металла, который течет от линии 25 облучения к линии 26 подачи, так и поток 62 расплавленного металла, который течет от линии 26 подачи к линии 25 облучения. Кроме того, в зависимости от положения облучения электронным лучом относительно линии 25 облучения область S31, в которой поток 61 расплавленного металла и поток 62 расплавленного металла равны друг другу, и область S32, в которой поток 62 расплавленного металла преобладает над потоком 61 расплавленного металла, перемешиваются друг с другом. Таким образом, хотя поток 61 расплавленного металла и поток 62 расплавленного металла становятся равными в области S31, в которой температура линии облучения T_2 является высокой, поскольку область S31 находится близко к положению облучения электронным лучом, который перемещается по линии 25 облучения, в области S32, в которой температура линии облучения T_2 уменьшается благодаря тому, что она находится вдали от положения облучения электронным лучом, иногда поток 61 расплавленного металла с достаточной силой не формируется.

[0096]

Следовательно, существует вероятность того, что в лентообразной области S3 между линией 25 облучения и линией 26 подачи будет сформирован поток 66 расплавленного металла, который течет к части 36 сливного носка, и будет сформирован поток 67 расплавленного металла, который течет от линии 26 подачи через линию 25 облучения к центральной части в направлении ширины ванны 30. Следовательно, существует риск того, что ВНП 8, перемещающиеся вместе с потоком 66 расплавленного металла или потоком 67 расплавленного металла и находящиеся в окрестности линий 26 подачи, будут вытекать из части 36 сливного носка.

[0097]

Однако даже в том случае, когда $\Delta T/L < -2,70$, поток 62 расплавленного металла от линии 26 подачи может быть подавлен до некоторой степени потоком 61 расплавленного металла от линии 25 облучения. Следовательно, ВНП 8, которым помешал войти в центральную часть в направлении ширины ванны 30 поток 61 расплавленного металла, постепенно растворяются во время их нахождения в лентообразной области S3. Следовательно, поскольку перемещение примесей, таких как ВНП 8 в окрестностях линий 26 подачи, к части 36 сливного носка может быть до некоторой степени предотвращено, количество примесей, вытекающих из части 36 сливного носка, может быть уменьшено, например до 5% или меньше, по сравнению со случаем, в котором электронные лучи не излучаются вдоль линий 25 облучения.

[0098]

Следовательно, для того, чтобы сформировать подходящий поток 61 расплавленного металла с помощью линейного облучения и уменьшить количество вытекающих примесей, предпочтительный температурный градиент $\Delta T/L$ составляет $-2,70$ [К/мм] или больше, и более предпочтительно $0,00$ [К/мм] или больше. Достаточно подходящим образом установить условия излучения электронного луча для линейного облучения (например, количество передаваемого тепла, скорость сканирования и распределение теплового потока электронного луча), температуры T_0 , T_1 и T_2 расплавленного металла 5с, или расположение линий 25 облучения и линий 26 подачи, или расстояния L и L_1 и т.п. так, чтобы был получен температурный градиент $\Delta T/L$, который находится в соответствующем подходящем диапазоне числовых значений.

[0099]

Следует отметить, что чем больше значение температурного градиента $\Delta T/L$, тем лучше с точки зрения подавления количества вытекающих примесей. Однако значение температурного градиента $\Delta T/L$ ограничивается сверху характеристиками оборудования, излучающего электронный луч. Из-за таких ограничений в плане характеристик оборудования, например, значение верхнего предела температурного градиента $\Delta T/L$ предпочтительно составляет $64,0$ [К/мм] или меньше, и более предпочтительно $10,0$ [К/мм] или меньше.

[0100]

[1.7. Модификация]

Далее будет описана одна модификация описанного выше первого варианта осуществления. Выше был описан пример в котором, как проиллюстрировано на Фиг. 4, пара линий 25, 25 облучения располагается параллельно боковым стенкам 37А и 37В в продольном направлении (направлении Y) ванны 30, а также линиям 26, 26 подачи. Однако настоящее изобретение не ограничивается этим примером. Достаточно того, чтобы линии 25 облучения и линии 26 подачи были расположены вдоль произвольной одной или нескольких боковых стенок 37А, 37В и 37С (вторых боковых стенок), которые отличаются от боковой стенки 37D (первой боковой стенки), в которой предусмотрена часть 36 сливного носка, и линия 25 облучения, а также количество и направление линий 25 облучения и т.п. не ограничиваются примером, проиллюстрированным на Фиг. 4.

[0101]

Например, как проиллюстрировано на Фиг. 10, в некоторых случаях сырье 5 подается в ванну 30 вдоль одной прямолинейной линии 26 подачи, которая по существу параллельна боковой стенке 37С, которая находится на одной короткой стороне ванны 30. В этом случае достаточно расположить линию 25 облучения в положении вдоль линии 26 подачи ближе к центральной части в продольном направлении (направлении Y) ванны 30 относительно этой линии 26 подачи. Если формируется поток 61 расплавленного металла, который течет от линии 25 облучения к боковой стенке 37С на короткой стороне, примеси около линии 26 подачи могут быть захвачены гарнисажем 7 на внутренней поверхности боковой стенки 37С, и тем самым удалены из расплавленного металла 5с.

[0102]

Кроме того, как проиллюстрировано на Фиг. 11, также существуют случаи, когда одна линия 26 подачи, имеющая перевернутую С-образную форму, располагается вдоль боковых стенок 37А и 37В на паре длинных сторон и одной боковой стенки 37С на короткой стороне, и сырье 5 подается в ванну 30 вдоль этой линии 26 подачи. В этом случае достаточно расположить единственную линию 25 облучения, имеющую перевернутую С-образную форму, вдоль вышеупомянутой линии 26 подачи, ближе к центральной части в продольном направлении (направлении Y) и направлении ширины (направлении X) ванны 30 относительно этой линии 26 подачи. Если формируется поток 61 расплавленного металла, который течет от линии 25 облучения к боковым стенкам 37А и 37В на длинных сторонах и боковой стенке 37С на короткой стороне, примеси около линии 26 подачи могут быть захвачены гарнисажем 7 на внутренних поверхностях боковых стенок 37А, 37В и 37С, и тем самым удалены из расплавленного металла 5с.

[0103]

Кроме того, хотя это и не показано на чертежах, например, также существуют случаи, когда боковые стенки ванны имеют криволинейную форму, такую как эллиптическую или овальную. В таком случае линия 26 подачи и линия 25 облучения, которые имеют криволинейную форму, могут быть расположены вдоль криволинейных боковых стенок ванны.

[0104]

[1.8. Резюме]

Выше был описан способ производства металлического слитка согласно первому варианту осуществления настоящего изобретения. В соответствии с настоящим вариантом осуществления линии 25 облучения располагаются вдоль линий 26 подачи в положениях ближе к центральной части в направлении ширины ванны 30 относительно линий 26 подачи, и электронные лучи излучаются сфокусированным образом вдоль этих линий 25 облучения. За счет этого, как проиллюстрировано на Фиг. 5, Фиг. 8, Фиг. 9 и т.п., область высокой температуры может быть сформирована около каждой линии 25 облучения, и может быть сформирован поток 61 расплавленного металла, который течет от линии 25 облучения к соответствующей линии 26 подачи. Соответственно, диффузия примесей, таких как ВНП 8, которые плавают на поверхности расплавленного металла 5с около линий 26 подачи, может быть предотвращена потоком 61 расплавленного металла. За счет этого можно предотвратить вытекание примесей из части 36 сливного носка ванны 30 в литейную форму 40 и их попадание в слиток 50.

[0105]

В дополнение к этому, как проиллюстрировано на Фиг. 5, если при $\Delta T/L \geq 0,00$ образуются потоки 61 расплавленного металла, которые текут от линий 25 облучения, пересекая соответствующие линии 26 подачи, к боковым стенкам 37А и 37В ванны 30, вышеупомянутые примеси начинают течь к боковым стенкам 37А и 37В ванны 30, и могут прилипнуть к гарнисажу 7 на внутренних поверхностях боковых стенок 37А и 37В. За счет этого можно более надежно предотвратить вытекание примесей из части 36 сливного носка ванны 30 в литейную форму 40 и их попадание в слиток 50.

[0106]

Кроме того, при $\Delta T/L \geq -2,70$, как проиллюстрировано на Фиг. 8, потоки 62 расплавленного металла от линий 26 подачи могут быть подавлены потоками 61 расплавленного металла от линий 25 облучения. Следовательно, может быть предотвращено возникновение ситуации, в которой примеси, такие как ВНП 8, которые плавают на поверхности расплавленного металла 5с около линий 26 подачи, перемещаются вместе с потоком 62 расплавленного металла, пересекая линии 25 облучения, к центральной части в направлении ширины ванны 30. Следовательно, поскольку примеси, такие как ВНП 8, могут быть удержаны в лентообразной области S3, имеющей высокую температуру, и тем самым растворены, вытекание примесей из части 36 сливного носка может быть подходящим образом предотвращено.

[0107]

Кроме того, в соответствии со способом производства металлического слитка настоящего варианта осуществления, поскольку нет необходимости изменять форму существующей ванны 30, этот способ может быть легко осуществлен, и специальное обслуживание также не требуется.

[0108]

В обычных способах производства слитка титана или титанового сплава принято удалять примеси, выдерживая расплавленный металл в течение длительного времени в ванне, чтобы тем самым растворить ВВП в расплавленном металле, одновременно заставляя ВВП прилипать к гарнисажу, образующемуся на поверхности дна ванны. Следовательно, традиционно использовалась длинная ванна, чтобы тем самым гарантировать достаточное время пребывания расплавленного металла в ванне. Однако в соответствии с настоящим вариантом осуществления, поскольку примеси могут быть подходящим образом удалены даже в том случае, когда время пребывания расплавленного металла в ванне является сравнительно коротким, возможно использовать короткую ванну. Соответственно, при использовании короткой ванны в ЭЛ-печи 1 производственные затраты на ЭЛ-печь 1 могут быть уменьшены. В дополнение к этому, если используется короткая ванна, выход слитка 50 может быть улучшен даже без повторного использования гарнисажа 7, который остается в ванне.

[0109]

[2. Второй вариант осуществления]

Далее будет описан способ производства металлического слитка согласно второму варианту осуществления настоящего изобретения.

[0110]

[2.1. Схема способа производства металлического слитка]

Сначала схема способа производства металлического слитка согласно второму варианту осуществления будет описана со ссылкой на Фиг. 12. Фиг. 12 представляет собой вид сверху, иллюстрирующий один пример потоков расплавленного металла, которые формируются с помощью способа производства металлического слитка согласно второму варианту осуществления.

[0111]

Как проиллюстрировано на Фиг. 12, характеристика способа производства металлического слитка согласно второму варианту осуществления заключается в том, что для дополнительного уменьшения количества примесей, вытекающих из ванны 30, в дополнение к излучению (линейному излучению) электронного луча вдоль линий 25 облучения согласно первому варианту осуществления, который был описан выше, электронный луч для растворения примесей (соответствует «второму электронному пучку» настоящего изобретения) излучается в виде пятна на поток 66 расплавленного металла (соответствует «второму потоку расплавленного металла» настоящего изобретения), который течет через лентообразную область S3 между линией 25 облучения и соответствующей линией 26 подачи.

[0112]

Во втором варианте осуществления также путем излучения электронного луча вдоль вышеупомянутых линий 25 облучения область высокой температуры S2 формируется около каждой линии 25 облучения, и образуются потоки 61 расплавленного металла, которые текут от каждой линии 25 облучения к соответствующей линии 26

подачи. За счет этого осуществляется управление течением расплавленного металла 5с между линиями 25 облучения и боковыми стенками 37 ванны 30, и примеси, такие как ВНП 8, которые плавают около линий 26 подачи, ограничиваются так, чтобы они не текли к части 36 сливного носка. В дополнение к этому, также во втором варианте осуществления, если потоки 61 расплавленного металла образуются от линий 25 облучения к боковым стенкам 37А и 37В, ВНП 8, которые находятся около линий 26 подачи, могут быть захвачены гарнисажем 7, который образуется на внутренних поверхностях боковых стенок 37 ванны 30, и таким образом могут быть удалены из расплавленного металла 5с.

[0113]

Что касается этого момента, в вышеупомянутом первом варианте осуществления, как было описано со ссылкой на Фиг. 5, в том случае, когда температурный градиент $\Delta T/L$ между линией 25 облучения и линией 26 подачи является в достаточной степени большим (например, в том случае, когда $\Delta T/L \geq 0,00$), потоки 61 расплавленного металла, которые текут от линий 25 облучения к линиям 26 подачи, проходят через линии 26 подачи и достигают боковых стенок 37А и 37В. За счет этих сильных потоков 61 расплавленного металла ВНП 8, которые плавают около линий 26 подачи, начинают течь к внутренним поверхностям боковых стенок 37А и 37В, позволяя тем самым гарнисажу 7, который образуется на внутренних поверхностях, захватить ВНП 8. Таким образом можно предотвратить вытекание примесей, таких как ВНП 8, из части 36 сливного носка.

[0114]

Однако, как было описано со ссылкой на Фиг. 8 и Фиг. 9, когда температурный градиент $\Delta T/L$ является малым (например, в том случае, когда $\Delta T/L < 0,00$), потоки 61 расплавленного металла, которые текут от линий 25 облучения к линиям 26 подачи, являются относительно слабыми, и поэтому потокам 61 расплавленного металла трудно отодвинуть обратно потоки 62 расплавленного металла, которые текут от линий 26 подачи к линиям 25 облучения. По этой причине, как проиллюстрировано на Фиг. 8, потоки 66 расплавленного металла, которые текут в направлении Y к части 36 сливного носка, образуются в лентообразных областях S3 между линиями 25 облучения и линиями 26 подачи. В этом случае возникает риск того, что примеси, такие как ВНП 8, которые перемещаются вместе с потоками 66 расплавленного металла и текут к части 36 сливного носка, будут вытекать из части 36 сливного носка в литейную форму 40.

[0115]

Следовательно, во втором варианте осуществления, как проиллюстрировано на Фиг. 12, электронный луч излучается сфокусированным образом на пятна 27 облучения, которые расположены в лентообразных областях S3 между линиями 25 облучения и линиями 26 подачи (точечное облучение). За счет этого электронный луч излучается точечным образом на потоки 66 расплавленного металла, которые текут через лентообразные области S3 к части 36 сливного носка. Соответственно, температура поверхности расплавленного металла 5с локально увеличивается в положениях пятен 27

облучения, и примеси, такие как ВНП 8, которые содержатся в потоках 66 расплавленного металла, могут быть растворены в расплавленном металле 5с, и тем самым удалены. Следовательно, вытекание примесей, таких как ВНП 8, из части 36 сливного носка в литейную форму 40 может быть предотвращено более надежно.

[0116]

[2.2. Температура пятна облучения]

ВНП 8 состоящим из нитрида титана и т.п., и температура плавления нитрида титана является более высокой, чем температура плавления технически чистого титана. Следовательно, в том случае, когда температура поверхности расплавленного металла Т0 является сравнительно низкой, даже если титан, который является главным компонентом расплавленного металла 5с, плавится, нитрид титана, который является компонентом ВНП 8, не растворяется и остается в виде твердых гранул. Следовательно, в вышеупомянутых пятнах 27 облучения электронный луч излучается сфокусированным образом для того, чтобы увеличить температуру поверхности Т3 расплавленного металла 5с в соответствующем пятне 27 облучения (ниже упоминаемую как «температура пятна облучения Т3») с большим запасом относительно температуры поверхности расплавленного металла Т0. За счет этого температура пятна облучения Т3, например, может быть сделана более высокой, чем температура плавления нитрида титана, и таким образом нитрид титана может быть растворен в расплавленном металле 5с, чтобы заставить азот диффундировать и тем самым превратить нитрид титана в титан. Соответственно, ВНП 8, которые содержатся в потоках 66 расплавленного металла, которые проходят через пятна 27 облучения, могут быть надежно растворены в расплавленном металле 5с, и тем самым удалены. Следует отметить, что температура плавления нитрида титана изменяется в зависимости от концентрации азота. Например, в том случае, когда концентрация азота находится в диапазоне 1,23–4 мас.%, температура плавления нитрида титана составляет 2300 К.

[0117]

В этом случае температура пятна облучения Т3 находится, например, в диапазоне 2300 К – 3500 К, и предпочтительно в диапазоне 2400 К – 2700 К. Предпочтительно температура пятна облучения Т3 является более высокой, чем вышеупомянутая температура подачи сырья Т1 и температура линии облучения Т2 ($T3 > T1$, и $T3 > T2$). За счет этого, даже в том случае, когда ВНП 8 не растворяются и остаются в твердом состоянии, когда сырье 5 плавится в части 10 подачи сырья (температура подачи сырья Т1), и когда выполняется линейное облучение (температура линии облучения Т2), поскольку ВНП 8 могут быть нагреты при температуре пятна облучения Т3, которая является более высокой температурой, ВНП 8 могут быть более надежно растворены.

[0118]

[2.3. Положение пятна облучения]

Сначала будет описано положение соответствующих пятен 27 облучения в направлении Y. Как проиллюстрировано на Фиг. 12, внутри лентообразной области S3

между линией 25 облучения и линией 26 подачи пятно 27 облучения предпочтительно располагается на конце со стороны части 36 сливного носка или около нее. Поток 66 расплавленного металла, который течет через лентообразную область S3 к части 36 сливного носка, вытекает за пределы лентообразной области S3 из концевой части лентообразной области S3 со стороны части 36 сливного носка. Следовательно, ВНП 8, содержащиеся в потоке 66 расплавленного металла, который течет через лентообразную область S3, проходят через концевую часть лентообразной области S3 со стороны части 36 сливного носка. Поэтому предпочтительно располагать пятно 27 облучения на концевой части лентообразной области S3 со стороны части 36 сливного носка и излучать электронный луч сфокусированным образом на это пятно 27 облучения. За счет этого все или большинство ВНП 8, которые перемещаются вместе с потоком 66 расплавленного металла, который течет через лентообразную область S3 к части 36 сливного носка, могут быть более надежно растворены и удалены в положении пятна 27 облучения.

[0119]

Далее будет описано положение соответствующих пятен 27 облучения в направлении X. Пятно 27 облучения располагается между линией 25 облучения и линией 26 подачи. Расстояние L2 между пятном 27 облучения и линией 26 подачи подходящим образом задается в соответствии с температурой подачи сырья T1, температурой линии облучения T2 и условиями излучения для линейного облучения и точечного облучения и т.п., и расстояние L2 предпочтительно составляет приблизительно половину расстояния L между линией 25 облучения и линией 26 подачи. За счет этого, поскольку пятно 27 облучения может быть подходящим образом расположено в положении потока 66 расплавленного металла, который течет через лентообразную область S3 между линией 25 облучения и линией 26 подачи, ВНП 8, содержащиеся в потоке 66 расплавленного металла, могут быть эффективно растворены и удалены.

[0120]

Следует отметить, что в примере, проиллюстрированном на Фиг. 12, в каждой из лентообразных областей S3 только одно пятно 27 облучения расположено на концевой части со стороны части 36 сливного носка, и электронный луч точно излучается на поток 66 расплавленного металла в одном месте. Однако настоящее изобретение не ограничивается этим примером, и электронный луч может точно излучаться в произвольных положениях, через которые примеси, такие как ВНП 8, проходят на поверхности расплавленного металла 5с. Например, множество пятен 27 облучения могут быть расположены в положениях, которые отделены друг от друга, в лентообразной области S3, и электронный луч может точно излучаться на поток 66 расплавленного металла во множестве мест. Кроме того, пока рассматриваемое положение является положением, в котором может быть выполнено точечное облучение потока 66 расплавленного металла внутри лентообразной области S3, электронный луч может точно излучаться в любом положении в лентообразной области S3 (например, в центральной части в направлении Y, или в предшествующем положении или в

последующем положении в направлении Y центральной части). В дополнение к этому, электронный луч может также точно излучаться на поток расплавленного металла, который течет к части 36 сливного носка за пределами лентообразной области S3, а не только в лентообразной области S3, и электронный луч может также точно излучаться в месте, которое расположено вокруг части 36 сливного носка.

[0121]

[2.4. Настройки электронного луча для пятна облучения]

Во втором варианте осуществления, как было описано выше, путь течения ВНП 8 (потока 66 расплавленного металла) формируется в лентообразной области S3 между линией 25 облучения и соответствующей линией 26 подачи, пятно 27 облучения располагается так, чтобы отрезать этот путь течения, и электронный луч излучается сфокусированным образом на пятно 27 облучения. За счет поддержания таким образом температуры пятна облучения T3 в пятне 27 облучения на высоком уровне, ВНП 8 могут быть более надежно растворены в потоке 66 расплавленного металла, который течет к части 36 сливного носка. В том случае, когда расплавленный металл 5с является расплавленным титаном, если температура пятна облучения T3, которая измеряется лучевым термометром, поддерживается, например, на уровне 2400 К или выше, ВНП 8, содержащиеся в расплавленном титане, могут быть надежно растворены.

[0122]

Следует отметить, что если температура пятна облучения T3 может поддерживаться внутри predetermineded диапазона температур, электронный луч для точечного облучения, которое растворяет примеси, такие как ВНП 8, может излучаться непрерывно или прерывисто на пятно 27 облучения. Кроме того, условия излучения, такие как количество передаваемого тепла, скорость сканирования и распределение теплового потока электронного луча для точечного облучения ограничиваются характеристиками оборудования, которое излучает электронный луч. Соответственно, при задании условий излучения электронного луча предпочтительно делать количество тепла, передаваемого электронным лучом, максимально большим, скорость сканирования максимально высокой, а распределение теплового потока максимально узким (т.е. делать апертуру электронного луча как можно меньше) в пределах диапазона характеристик оборудования.

[0123]

Кроме того, излучение электронного луча в пятнах 27 облучения может быть выполнено с использованием единственной электронной пушки или используя с использованием множества электронных пушек. В дополнение к этому, вышеупомянутая электронная пушка 20Е для линейного облучения (см. Фиг. 3) также служит в качестве электронной пушки для точечного облучения. За счет этого количество электронных пушек, устанавливаемых в ЭЛ-печи 1, может быть сокращено, стоимость оборудования может быть уменьшена, а уже установленные электронные пушки могут быть использованы эффективно. Однако настоящее изобретение не ограничивается этим примером, и в качестве электронной пушки для точечного облучения может

использоваться электронная пушка, предназначенная исключительно для точечного облучения (не показана), или, альтернативно, электронная пушка, предназначенная для других целей, такая как электронная пушка 20А или 20В для плавления сырья или электронная пушка 20С или 20D для поддержания температуры расплавленного металла (см. Фиг. 3), могут использоваться также для точечного облучения.

[0124]

[2.5. Модификация]

Далее будет описана одна модификация описанного выше второго варианта осуществления. Выше был описан пример, в котором, как проиллюстрировано на Фиг. 12, две лентообразные области S3, S3 располагаются по существу параллельно боковым стенкам 37А и 37В в продольном направлении (направлении Y) ванны 30. Однако настоящее изобретение не ограничивается этим примером. Лентообразная область S3 может быть расположен вдоль любой одной или более боковых стенок 37А, 37В и 37С (вторых боковых стенок), отличающихся от боковой стенки 37D (первой боковой стенки), в которой предусмотрена часть 36 сливного носка, и количество, направление, форма и т.п. обеспечиваемых лентообразных областей S3 не ограничиваются примером, проиллюстрированным на Фиг. 12.

[0125]

Например, как проиллюстрировано на Фиг. 13, единственная линия 26 подачи, имеющая прямолинейную форму, и единственная линия 25 облучения могут быть расположены по существу параллельно боковой стенке 37С на одной из коротких сторон ванны 30, и лентообразная область S3, по существу параллельная боковой стенке 37С на короткой стороне, может быть расположена между линией 26 подачи и линией 25 облучения. В этом случае достаточно расположить два пятна 27, 27 облучения на двух концевых частях в направлении X лентообразной области S3 и излучать электронные лучи сфокусированным образом в положениях этих двух пятен 27, 27 облучения на потоки 66, 66 расплавленного металла, которые текут через внутреннюю часть лентообразной области S3 в направлении X. За счет этого, поскольку ВНП 8, содержащиеся в потоках 66, 66 расплавленного металла, могут быть растворены, можно предотвратить обход ВНП 8 линии 25 облучения с двух концов в направлении X и их течение к части 36 сливного носка.

[0126]

Кроме того, как проиллюстрировано на Фиг. 14, линия 26 подачи и линия 25 облучения, каждая из которых имеет перевернутую С-образную форму, могут быть расположены вдоль боковых стенок 37А и 37В на паре длинных сторон и боковой стенки 37С, которая находится на одной из коротких сторон, и лентообразная область S3, имеющая перевернутую С-образную форму, может быть расположена между линией 26 подачи и линией 25 облучения. В этом случае достаточно расположить два пятна 27, 27 облучения на двух концевых частях лентообразной области S3, имеющей перевернутую С-образную форму, со стороны части 36 сливного носка, и излучать электронные лучи

сфокусированным образом в положениях этих двух пятен 27, 27 облучения на потоки 66, 66 расплавленного металла, которые текут через внутреннюю часть лентообразной области S3 к части 36 сливного носка. За счет этого, поскольку ВНП 8, содержащиеся в потоках 66, 66 расплавленного металла, могут быть растворены, можно предотвратить прохождение ВНП 8 через две концевых части лентообразной области S3, имеющей перевернутую С-образную форму, и их течение к части 36 сливного носка.

[0127]

[2.6. Резюме]

Выше был описан способ производства металлического слитка согласно второму варианту осуществления настоящего изобретения. В соответствии со вторым вариантом осуществления, следующие эффекты получают в дополнение к вышеупомянутым эффектам первого варианта осуществления.

[0128]

В соответствии со вторым вариантом осуществления, когда поток 66 расплавленного металла, который течет к части 36 сливного носка, образуется в лентообразной области S3 между линией 25 облучения и линией 26 подачи, электронный луч для растворения примесей излучается сфокусированным образом на поток 66 расплавленного металла в пятне 27 облучения, которое расположено на одной или на обеих концевых частях лентообразной области S3. За счет этого, прежде, чем примеси, такие как ВНП 8, которые содержатся в потоке 66 расплавленного металла, достигнут части 36 сливного носка из лентообразной области S3, эти примеси могут быть растворены в высокотемпературном пятне 27 облучения, и тем самым удалены из расплавленного металла. Следовательно, вытекание примесей, таких как ВНП 8, из части 36 сливного носка в литейную форму 40 может быть предотвращено более надежно.

[0129]

В вышеописанном первом варианте осуществления в том случае, когда температура линии облучения T2 является более низкой, чем температура подачи сырья T1, или в том случае, когда температурный градиент $\Delta T/L$ между линией 26 подачи и линией 25 облучения составляет меньше чем 0,00 из-за характеристик оборудования или других ограничений, существует вероятность того, что поток 66 расплавленного металла, который течет к части 36 сливного носка, будет сформирован в лентообразной области S3, и что примеси, перемещаются вместе с потоком 66 расплавленного металла, будут вытекать к части 36 сливного носка. Даже в таком случае, в способе производства металлического слитка согласно второму варианту осуществления можно более надежно предотвратить вытекание примесей к части 36 сливного носка, и следовательно способ производства металлического слитка согласно второму варианту осуществления является особенно полезным.

[0130]

[3. Третий вариант осуществления]

Далее будет описан способ производства металлического слитка согласно третьему

варианту осуществления настоящего изобретения.

[0131]

[3.1. Схема способа производства металлического слитка]

Сначала схема способа производства металлического слитка согласно третьему варианту осуществления будет описана со ссылкой на Фиг. 15. Фиг. 15 представляет собой вид сверху, иллюстрирующий один пример потоков расплавленного металла, которые формируются с помощью способа производства металлического слитка согласно третьему варианту осуществления.

[0132]

Как проиллюстрировано на Фиг. 15, характеристика способа производства металлического слитка согласно третьему варианту осуществления заключается в том, что для дополнительного уменьшения количества примесей, вытекающих из ванны 30, в дополнение к излучению (линейному излучению) электронного луча вдоль линий 25 облучения (соответствуют «первой линии облучения» настоящего изобретения) согласно первому варианту осуществления, который был описан выше, электронный луч (соответствует «третьему электронному лучу» настоящего изобретения) излучается вдоль линии 28 облучения (соответствует «второй линии облучения» настоящего изобретения), которая расположена так, чтобы блокировать часть 36 сливного носка.

[0133]

В третьем варианте осуществления также путем излучения электронного луча вдоль вышеупомянутых линий 25 облучения область высокой температуры S2 формируется около каждой линии 25 облучения, и образуются потоки 61 расплавленного металла, которые текут от каждой линии 25 облучения к соответствующей линии 26 подачи. За счет этого осуществляется управление течением расплавленного металла 5с между линиями 25 облучения и боковыми стенками 37 ванны 30, и примеси, такие как ВНП 8, которые плавают около линий 26 подачи, ограничиваются так, чтобы они не текли к части 36 сливного носка. В дополнение к этому, также в третьем варианте осуществления, если потоки 61 расплавленного металла могут быть сформированы от линий 25 облучения к боковым стенкам 37А и 37В, ВНП 8, которые находятся около линий 26 подачи, могут быть захвачены гарнисажем 7, который образуется на внутренних поверхностях боковых стенок 37 ванны 30, и таким образом могут быть удалены из расплавленного металла.

[0134]

Однако, как было описано со ссылкой на Фиг. 8 и Фиг. 9, когда температурный градиент $\Delta T/L$ является малым (например, в том случае, когда $\Delta T/L < 0,00$, особенно в том случае, когда $\Delta T/L < -2,70$), потоки 61 расплавленного металла, которые текут от линий 25 облучения к линиям 26 подачи, являются относительно слабыми, и поэтому потоки 61 расплавленного металла не могут отодвинуть обратно потоки 62 расплавленного металла, которые текут от линий 26 подачи к линиям 25 облучения. По этой причине в некоторых случаях потоки 66 расплавленного металла, которые текут в направлении Y к части 36

сливного носка, образуются в лентообразных областях S3 между линиями 25 облучения и линиями 26 подачи (см. Фиг. 8), и потоки 67 расплавленного металла от линий 26 подачи пересекают линии 25 облучения и текут к центральной части ванны 30 (см. Фиг. 9). В этом случае возникает риск того, что ВНП 8, которые перемещаются вместе с потоками 66 расплавленного металла или вместе с потоками 67 расплавленного металла и потоком 60 расплавленного металла, будут течь к части 36 сливного носка и будут вытекать из части 36 сливного носка в литейную форму 40.

[0135]

Следовательно, в третьем варианте осуществления, как проиллюстрировано на Фиг. 15, линия 28 облучения располагается так, чтобы блокировать часть 36 сливного носка на поверхности расплавленного металла 5с в ванне 30, и электронный луч излучается сфокусированным образом вдоль линии 28 облучения (второй линии облучения). За счет этого температура поверхности расплавленного металла 5с локально увеличивается вдоль линии 28 облучения, и область высокой температуры формируется около линии 28 облучения. В результате поток 68 расплавленного металла, который течет в направлении, противоположном части 36 сливного носка из окрестности линии 28 облучения, образуется в наружном слое расплавленного металла 5с в области вокруг части 36 сливного носка. Посредством потока 68 расплавленного металла предотвращается течение потоков 66 расплавленного металла или потока 60 расплавленного металла, которые содержат примеси, такие как ВНП 8, в часть 36 сливного носка, и они могут быть отодвинуты обратно. Поскольку расплавленный металл 5с, который отодвинут обратно, будет находиться в ванне 30 в течение длительного времени, азот, содержащийся в примесях, таких как ВНП 8, содержащихся в рассматриваемом расплавленном металле 5с, диффундирует в расплавленный металл 5с с течением времени и растворяется, удаляя тем самым примеси из расплавленного металла 5с.

[0136]

Следовательно, в третьем варианте осуществления, по сравнению с вышеупомянутым первым вариантом осуществления, можно еще более надежно предотвратить вытекание примесей, таких как ВНП 8, из части 36 сливного носка в литейную форму 40.

[0137]

[3.2. Положение линии облучения и температура линии облучения]

Линия 28 облучения является воображаемой линией, которая представляет собой последовательность положений, в которых электронный луч излучается сфокусированным образом на поверхность расплавленного металла 5с в ванне 30. Линия 28 облучения располагается на поверхности расплавленного металла 5с так, чтобы она окружала часть 36 сливного носка. Два конца линии 28 облучения располагаются около внутренней поверхности боковой стенки 37D (первой боковой стенки) ванны 30. Используемый в настоящем документе термин «окрестность» означает, что расстояние между двумя

концами линии 28 облучения и внутренней поверхностью боковой стенки 37 не превышает 5 мм. Путем расположения обоих концов линии 28 облучения около боковой стенки 37D возникновение ситуации, в которой примеси проходят через зазоры между двумя концами линии 28 облучения и боковой стенкой 37D и текут к части 36 сливного носка, может быть предотвращено подходящим образом.

[0138]

Следует отметить, что хотя в примере, проиллюстрированном на Фиг. 15, линия 28 облучения имеет V-образную форму, если линия 28 облучения имеет линейную форму и располагается так, чтобы окружать часть 36 сливного носка, линия 28 облучения может иметь, например, форму дуги, эллиптическую форму, другую криволинейную форму, перевернутую C-образную форму, U-образную форму, форму волнистой линии, зигзагообразную форму, форму сдвоенной линии, форму ленты и т.п.

[0139]

Путем излучения электронного луча сфокусированным образом вдоль вышеупомянутой линии 28 облучения область высокой температуры, имеющая температуру поверхности T4, которая является более высокой, чем вышеупомянутая температура поверхности расплавленного металла T0, формируется около линии 28 облучения на поверхности расплавленного металла 5с. Предпочтительно температура поверхности T4 (далее упоминаемая как «температура второй линии облучения T4») расплавленного металла 5с на линии 28 облучения является более высокой, чем вышеупомянутая температура поверхности расплавленного металла T0 ($T4 > T0$), и является более высокой, чем вышеупомянутая температура подачи сырья T1 ($T4 > T1 > T0$). Температура второй линии облучения T4 находится, например, внутри диапазона от 1923 К до 2473 К, и предпочтительно находится внутри диапазона 1973 К – 2423 К.

[0140]

[3.3. Настройки электронного луча для второго линейного облучения]

В третьем варианте осуществления, как проиллюстрировано на Фиг. 15, за счет излучения электронного луча сфокусированным образом вдоль линии 28 облучения, которая окружает часть 36 сливного носка, формируется поток 68 расплавленного металла, который течет от линии 28 облучения в сторону, противоположную части 36 сливного носка. Область вокруг части 36 сливного носка защищается потоком 68 расплавленного металла так, чтобы поток расплавленного металла, содержащий примеси, такие как ВМП 8, не тек в часть 36 сливного носка. Если температура облучения второй линии T4 может поддерживаться внутри предопределенного диапазона, электронный луч для облучения второй линии может излучаться непрерывно или прерывисто вдоль линии 28 облучения. Кроме того, условия излучения, такие как количество передаваемого тепла, скорость сканирования и распределение теплового потока электронного луча для облучения второй линии ограничиваются характеристиками оборудования, которое излучает электронный луч. Соответственно, при задании условий излучения электронного луча предпочтительно делать количество тепла, передаваемого электронным лучом,

максимально большим, скорость сканирования максимально высокой, а распределение теплового потока максимально узким (т.е. делать апертуру электронного луча как можно меньше) в пределах диапазона характеристик оборудования.

[0141]

Кроме того, излучение электронного луча вдоль линии 28 облучения (второй линии облучения) может быть выполнено с использованием единственной электронной пушки или используя с использованием множества электронных пушек. В дополнение к этому, предпочтительно вышеупомянутая электронная пушка 20Е для линейного облучения (см. Фиг. 3) также служит в качестве электронной пушки для облучения второй линии. За счет этого количество электронных пушек, устанавливаемых в ЭЛ-печи 1, может быть сокращено, стоимость оборудования может быть уменьшена, а уже установленные электронные пушки могут быть использованы эффективно. Однако настоящее изобретение не ограничивается этим примером, и в качестве электронной пушки для облучения второй линии может использоваться вышеупомянутая электронная пушка для точечного облучения (не показана), или, альтернативно, электронная пушка, предназначенная для других целей, такая как электронная пушка 20А или 20В для плавления сырья или электронная пушка 20С или 20D для поддержания температуры расплавленного металла (см. Фиг. 3), могут использоваться также для облучения второй линии.

[0142]

[3.4. Модификация]

Далее со ссылкой на Фиг. 16 будет описана одна модификация вышеупомянутого третьего варианта осуществления. Фиг. 16 представляет собой вид сверху, иллюстрирующий один пример потоков расплавленного металла, формируемых с помощью способа производства металлического слитка согласно одной модификации третьего варианта осуществления.

[0143]

Способ производства металлического слитка в соответствии с этой модификацией является примером, в котором точечное излучение в соответствии с вышеупомянутым вторым вариантом осуществления (см. Фиг. 12 и т.п.) дополнительно применяется к способу производства металлического слитка согласно третьему варианту осуществления, проиллюстрированному на Фиг. 15. Как проиллюстрировано на Фиг. 16, согласно этой модификации объединяются облучение линии 25 облучения (первый вариант осуществления), облучение пятна 27 облучения (второй вариант осуществления) и облучение второй линии 28 облучения (третий вариант осуществления). В этом случае расположение каждого из линии 25 облучения, пятна 27 облучения и линии 28 облучения регулируется так, чтобы линия 25 облучения, пятно 27 облучения и линия 28 облучения не мешали друг другу.

[0144]

За счет объединения таким образом линии 25 облучения, пятна 27 облучения и

линии 28 облучения, даже если примеси, такие как ВНП 8, не удаляются полностью линейным излучением в соответствии с первым вариантом осуществления и точечным излучением в соответствии со вторым вариантом осуществления, и некоторые примеси перемещаются вместе с потоком расплавленного металла к части 36 сливного носка, в конечном счете можно предотвратить попадание рассматриваемых примесей в часть 36 сливного носка на линии 28 облучения, которая находится около части 36 сливного носка. Следовательно, вытекание примесей из части 36 сливного носка в литейную форму 40 может быть предотвращено еще более надежно.

ПРИМЕРЫ

[0145]

Далее будут описаны примеры настоящего изобретения. Следующие примеры являются всего лишь конкретными примерами для проверки эффектов настоящего изобретения, и настоящее изобретение не ограничивается следующими примерами.

[0146]

(1) Примеры линейного облучения

Сначала со ссылками на Таблицу 1 и Фиг. 18–26 будут описаны примеры, в которых было выполнено моделирование для проверки эффекта удаления ВНП с помощью линейного облучения в соответствии с первым вариантом осуществления настоящего изобретения, который был описан выше.

[0147]

Что касается настоящих примеров, поток расплавленного металла внутри ванны 30 моделировался для случая, в котором в качестве сырья 5 использовался, например, титановый сплав, и электронный луч излучался вдоль линии 25 облучения на расплавленный металл 5с из титанового сплава, который накапливался в короткой ванне, показанной на Фиг. 3. Было установлено распределение температур расплавленного металла 5с в ванне 30, поведение ВНП и количество ВНП, вытекающих из ванны 30.

[0148]

Условия моделирования и результаты оценки настоящих примеров показаны в Таблице 1.

[0149]

[Таблица 1]

Таблица 1. Условия моделирования и результаты оценки примеров линейного облучения

№	Иллюстрация	Линейное облучение	Точечное облучение	Температура поверхности расплавленного металла T0 [K]	Температура подачи сырья T1 [K]	Температура линии облучения T2 [K]	Температура пятна облучения T3 [K]	Разность температур ΔT ($=T2-T1$) [K]	Выход Q2 электронного луча для линейного облучения [МВт]	Выход Q3 электронного луча для точечного облучения [МВт]	Расстояние L между линией облучения и линией подачи [мм]	Температурный градиент $\Delta T/L$ [K/мм]	Оценка эффекта удаления ВМП
Пример 1	Фиг. 19	присутствует	отсутствует	2093	2173	2177	—	4	0,4	—	30	0,13	A
Пример 2	Фиг. 20	присутствует	отсутствует	2093	2173	2174	—	1	0,4	—	35	0,03	A
Пример 3	Фиг. 21	присутствует	отсутствует	2087	2173	2197	—	24	0,4	—	5	4,80	A
Пример 4	Фиг. 22	присутствует	отсутствует	2096	2173	2170	—	-3	0,4	—	40	-0,08	B
Пример 5	Фиг. 23	присутствует	отсутствует	2166	2373	2298	—	-75	0,4	—	30	-2,50	B
Пример 6	Фиг. 24	присутствует	отсутствует	2165	2373	2300	—	-73	0,4	—	20	-3,65	C
Пример 7	Фиг. 25	присутствует	отсутствует	2157	2373	2300	—	-73	0,4	—	10	-7,30	C
Сравнительный пример 1	Фиг. 26	отсутствует	отсутствует	2065	2173	—	—	—	—	—	—	—	D

[0150]

В моделированиях Примеров 1–7, показанных в Таблице 1, как проиллюстрировано на Фиг. 4, две линии 26, 26 подачи, имеющие прямолинейную форму, были расположены параллельно боковым стенкам 37А и 37В, и две линии 25, 25 облучения, имеющие прямолинейную форму, были расположены параллельно линиям 26 подачи. При капании расплавленного титанового сплава при температуре подачи сырья T_1 вдоль линий подачи 26, 26 электронный луч для удержания тепла излучался на область 23 облучения для удержания тепла расплавленного металла 5с внутри ванны 30 (излучение для удержания тепла), чтобы поддерживать температуру поверхности расплавленного металла 5с равной температуре поверхности расплавленного металла T_0 , и электронный луч для линейного облучения излучался сфокусированным образом вдоль линий 25, 25 облучения (линейное облучение).

[0151]

С другой стороны, в качестве Сравнительного примера 1, как проиллюстрировано на Фиг. 17, подобное моделирование было также выполнено для случая, в котором электронный луч для удержания тепла излучался на область 23 облучения для удержания тепла расплавленного металла 5с внутри ванны 30, но в котором не выполнялось линейное облучение вдоль линий 25, 25 облучения. Следует отметить, что в моделированиях Примеров 1–7 и Сравнительного примера 1, показанных в Таблице 1, точечное излучение электронного луча на пятно 27 облучения не выполнялось.

[0152]

Использувавшиеся в Примерах 1–7 и Сравнительном примере 1 различные температуры T_0 , T_1 и T_2 , выход Q_2 электронного луча для линейного облучения, расстояние L между линией 25 облучения и линией 26 подачи, температурный градиент $\Delta T/L$ и т.п. показаны в вышеупомянутой Таблице 1.

[0153]

Для каждого моделирования рассчитывался переходный процесс, поскольку поток и температура расплавленного металла 5с изменяются в каждый момент времени в зависимости от излучения электронного луча. Моделирование выполнялось на основе допущений о том, что ВНП представляют собой нитрид титана, размер зерна нитрида титана составляет 3,5 мкм, и плотность нитрида титана на 10% меньше плотности расплавленного металла 5с. Кроме того, в Примерах 1–7 и Сравнительном примере 1 электронный луч излучался сфокусированным образом вдоль каждой из линий 25, 25 облучения путем сканирования электронного луча от одного конца до другого конца каждой из линий 25, 25 облучения с использованием одной электронной пушки для линейного облучения. Хотя температура линии облучения T_2 колебалась во времени и в пространстве, среднее значение температуры линии облучения T_2 было равно показанному в Таблице 1.

[0154]

Как проиллюстрировано в Таблице 1, в Примерах 1–7 и Сравнительном примере 1

эффект удаления ВНП оценивался по четырехбалльной шкале (от А до D). Вытекающее из ванны 30 количество ВНП в единицу времени [г/мин] в соответствующих Примерах 1–7 оценивалось на основе следующих оценочных критериев, беря вытекающее из ванны 30 количество ВНП в единицу времени [г/мин] в Сравнительном примере 1 за справочное значение (100%).

А: вытекающее количество ВНП составляет менее 0,1% или не обнаруживается

В: вытекающее количество ВНП составляет 0,1% или больше и меньше чем 1%

С: вытекающее количество ВНП составляет 1% или больше и меньше чем 5%

D: вытекающее количество ВНП составляет 100% (справочное значение)

[0155]

Далее будут описаны результаты моделирования и оценка вытекающего количества ВНП для Примеров 1–7 и Сравнительного примера 1. Фиг. 18 представляет собой диаграмму линий потока, иллюстрирующую поток расплавленного металла 5с в Примере 1. Фиг. 19–25 показывают результаты моделирования для Примеров 1–7, соответственно, а Фиг. 26 показывает результат моделирования для Сравнительного примера 1.

[0156]

Фиг. 19–25 показывают температурное распределение на поверхности расплавленного металла 5с в ванне 30 и поведение ВНП, которые текут через поверхность расплавленного металла 5с, когда положение облучения электронным лучом для линейного облучения, которое сканируется вдоль линии 25 облучения, находилось в шести репрезентативных положениях. На диаграммах температурного распределения с левой стороны вышеупомянутых Фиг. 19–25 область с высокой температурой, отмеченная кружком, указывает положение облучения электронным лучом относительно линии 25 облучения в данный момент времени, две верхних и нижних лентообразных части с высокой температурой означают две линии 26, 26 подачи, и часть с низкой температурой около внутренней поверхности ванны указывает ту часть, в которой образуется гарнисаж 7. Кроме того, на диаграммах потоков с правой стороны на Фиг. 19–25 линии потока, имеющие нелинейную форму, указывают траекторию потока ВНП.

[0157]

В Примере 1, как проиллюстрировано на Фиг. 18 и Фиг. 19, область высокой температуры формировалась вдоль линий 25 облучения на внутренней стороне линий 26 подачи, и формировались потоки 61 расплавленного металла, которые проходили через линии 26 подачи от линий 25 облучения и текли к боковым стенкам 37А и 37В ванны 30. Следовательно, как проиллюстрировано на Фиг. 19, все ВНП в окрестности линий 26 подачи перемещались вместе с потоками 61 расплавленного металла и текли к боковым стенкам 37А и 37В, и не было никаких линий течения, проходящих от части 36 сливного носка в сторону литейной формы 40. Таким образом, было найдено, что ВНП внутри ванны 30 улавливались гарнисажем 7 на боковых стенках 37А и 37В, и ВНП не вытекали из части 36 сливного носка в литейную форму 40. В результате в Примере 1 вытекающее

количество ВНП было чрезвычайно низким, менее чем 0,1%, и таким образом эффект удаления ВНП был оценен как А.

[0158]

Аналогичным образом в Примере 2, показанном на Фиг. 20, и в Примере 3, показанном на Фиг. 21, также было найдено, что все ВНП в окрестности линий 26 подачи увлекались к боковым стенкам 37А и 37В потоками 61 расплавленного металла от линий 25 облучения и улавливались гарнисажем 7, что препятствовало вытеканию ВНП из части 36 сливного носка в литейную форму 40. В результате в Примерах 2 и 3 вытекающее количество ВНП также было чрезвычайно низким, менее чем 0,1% от вытекающего количества ВНП в Сравнительном примере 1, и таким образом эффект удаления ВНП был оценен как А.

[0159]

Считается, что причина этого является следующей. В каждом из вышеупомянутых Примеров 1–3 температура линии облучения Т2 была более высокой, чем температура подачи сырья Т1, и температурный градиент $\Delta T/L$ между линиями 26 подачи и линиями 25 облучения имел большое значение, 0,00 К/мм или больше. Поэтому считается, что поскольку могли быть сформированы сильные потоки 61 расплавленного металла от линий 25 облучения, которые пересекают линии 26 подачи и текут к боковым стенкам 37А и 37В, управление ВНП осуществлялось подходящим образом так, чтобы они не текли к части 36 сливного носка, и таким образом надежно предотвращалось вытекание ВНП в литейную форму 40.

[0160]

Далее, в Примере 4 и Примере 5, как проиллюстрировано на Фиг. 22 и Фиг. 23, хотя можно было предотвратить ситуацию, когда ВНП около линий 26 подачи пересекают линии 25 облучения и вытекают ближе к центральной части в направлении ширины (направлении Х) ванны 30, некоторое количество ВНП текло в продольном направлении (направлении Y) ванны 30 через лентообразные области S3 между линиями 26 подачи и линиями 25 облучения. Следовательно, в Примерах 4 и 5, по сравнению со Сравнительным примером 1, хотя вытекание ВНП из части 36 сливного носка могло быть в значительной степени предотвращено, небольшое количество ВНП все же вытекало из части 36 сливного носка. В результате в Примерах 4 и 5 вытекающее количество ВНП находилось в диапазоне от 0,1% до менее чем 1% от вытекающего количества ВНП в Сравнительном примере 1, и таким образом эффект удаления ВНП был оценен как В.

[0161]

Считается, что причина этого является следующей. В Примерах 4 и 5 температура линии облучения Т2 была более низкой, чем температура подачи сырья Т1, а температурный градиент $\Delta T/L$ находился в диапазоне от -2,70 К/мм до менее чем 0,00 К/мм, что было меньше, чем температурный градиент $\Delta T/L$ в вышеупомянутых Примерах 1–3. Следовательно, в Примерах 4 и 5 потоки 61 расплавленного металла от линий 25 облучения к линиям 26 подачи, которые проиллюстрированы на Фиг. 8, не могли

подавить потоки 62 расплавленного металла от линий 26 подачи к линиям 25 облучения, и потоки 66 расплавленного металла в направлении Y образовывались в лентообразных областях S3 между линиями 26 подачи и линиями 25 облучения. Следовательно, считается, что некоторое количество ВМП перемещалось вместе с потоками 66 расплавленного металла и текло к части 36 сливного носка.

[0162]

Кроме того, в соответствии с результатами сравнения вышеупомянутых Примеров 1–3 с Примерами 4 и 5 можно сказать, что эффект предотвращения вытекания ВМП за счет облучения является превосходным в Примерах 1–3 ($T_2 \geq T_1$, $\Delta T/L \Delta 0,00$) по сравнению с Примерами 4 и 5 ($T_2 < T_1$, $-2,70 \leq \Delta T/L < 0,00$).

[0163]

Далее, в Примере 6 и Примере 7, как проиллюстрировано на Фиг. 24 и Фиг. 25, течение ВМП около линий 26 подачи к центральной части в направлении ширины (направлении X) ванны 30 могло до некоторой степени предотвращаться областями высокой температуры около линий 25 облучения. Однако некоторое количество ВМП текло от линий 26 подачи через линии 25 облучения к центральной части в направлении ширины (направлении X) ванны 30, а затем текло в направлении Y к части 36 сливного носка от центральной части, и некоторое количество ВМП вытекало из части 36 сливного носка. В результате в Примерах 6 и 7 вытекающее количество ВМП находилось в диапазоне от 1% до менее чем к 5% от вытекающего количества ВМП в Сравнительном примере 1, и таким образом эффект удаления ВМП был оценен как C.

[0164]

Считается, что причина этого является следующей. В Примерах 6 и 7 температура линии облучения T_2 была более низкой, чем температура подачи сырья T_1 , а температурный градиент $\Delta T/L$ был меньше, чем $-2,70$ К/мм, что было даже меньше, чем температурный градиент $\Delta T/L$ в вышеупомянутых Примерах 4 и 5. Следовательно, в Примерах 6 и 7 в части области, проиллюстрированной на Фиг. 9, потоки 62 расплавленного металла от линий 26 подачи к линиям 25 облучения преобладали над потоками 61 расплавленного металла от линий 25 облучения к линиям 26 подачи. Следовательно считается, что формировались потоки 67 расплавленного металла от линий 26 подачи, которые пересекали линии 25 облучения, и некоторое количество ВМП утекало к центральной части ванны 30.

[0165]

Кроме того, в соответствии с результатами сравнения Примеров 1–5 с Примерами 6 и 7 можно сказать, что эффект предотвращения вытекания ВМП за счет облучения является превосходным в Примерах 1–5 ($\Delta T/L \geq -2,70$) по сравнению с Примерами 6 и 7 ($\Delta T/L < -2,70$).

[0166]

В отличие от этого, в Сравнительном примере 1, как проиллюстрировано на Фиг. 17, электронный луч не излучался вдоль линий 25 облучения. Следовательно, как

проиллюстрировано на Фиг. 26, ВМП свободно вытекали из областей высокой температуры у линий 26 подачи к центральной части ванны 30 и увлекались потоком 60 расплавленного металла в центральной части ванны 30, и большое количество ВМП вытекало из части 36 сливного носка в литейную форму 40. Результат Сравнительного примера 1, в котором не был получен эффект удаления ВМП в соответствии с настоящим изобретением, был оценен как D, и был использован в качестве справочного для других примеров.

[0167]

Результаты моделирования для Примеров 1–7 и Сравнительного примера 1 были описаны выше. В соответствии с этими результатами можно сказать, что было подтверждено, что при выполнении линейного излучения электронного луча сфокусированным образом вдоль линий 25 облучения, как описано в Примерах 1–7, поток ВМП, которые находятся около линий 26 подачи, ограничивается, и можно препятствовать поступлению ВМП к части 36 сливного носка, и таким образом количество ВМП, вытекающих из части 36 сливного носка, может быть уменьшено до менее чем 5% от аналогичного количества в Сравнительном примере 1. В частности, можно сказать, что было подтверждено, что с точки зрения предотвращения истечения ВМП за счет линейного облучения и увеличения эффекта удаления ВМП Примеры 4 и 5 ($-2,70 \leq \Delta T/L < 0,00$) являются предпочтительными, и Примеры 1–3 ($\Delta T/L \geq 0,00$) являются еще более предпочтительными.

[0168]

(2) Примеры линейного облучения и точечного облучения

Далее со ссылками на Таблицу 2 и Фиг. 27–32 будут описаны примеры, в которых было выполнено моделирование для проверки эффекта удаления ВМП с помощью комбинации линейного облучения и точечного облучения согласно второму варианту осуществления настоящего изобретения, который был описан выше.

[0169]

Что касается настоящих примеров, поток расплавленного металла внутри ванны 30 моделировался для случая, в котором в качестве сырья 5 использовался, например, титановый сплав, и на расплавленный металл 5с из титанового сплава, который накапливался в короткой ванне, показанной на Фиг. 3, электронный луч излучался вдоль линий 25 облучения, и электронный луч излучался на пятна 27 облучения. Было установлено распределение температур расплавленного металла 5с в ванне 30, поведение ВМП и количество ВМП, вытекающих из ванны 30.

[0170]

Условия моделирования и результаты оценки для настоящих примеров показаны в Таблице 2.

[0171]

[Таблица 2]

Таблица 2. Условия моделирования и результаты оценки примеров линейного облучения и точечного облучения

№	Иллюстрация	Линейное облучение	Точечное облучение	Температура поверхности расплавленного металла T0 [K]	Температура подачи сырья T1 [K]	Температура линии облучения T2 [K]	Температура пятна облучения T3 [K]	Разность температур $\Delta T (=T2-T1)$ [K]	Выход Q2 электронного луча для линейного облучения [МВт]	Выход Q3 электронного луча для точечного облучения [МВт]	Расстояние L между линией облучения и линией подачи [мм]	Температурный градиент $\Delta T/L$ [K/мм]	Оценка эффекта удаления ВМП
Пример 8	Фиг. 27	присутствует	присутствует	2160	2373	2307	2432	-66	0,4	0,1	25	-2,64	A
Пример 9	Фиг. 28	присутствует	присутствует	2172	2373	2263	2432	-110	0,4	0,1	80	-1,38	A
Пример 10	Фиг. 29	присутствует	присутствует	2176	2373	2362	2432	-11	0,4	0,1	140	-0,08	A
Пример 11	Фиг. 30	присутствует	присутствует	2089	2173	2187	2432	14	0,4	0,1	20	0,70	A
Пример 12	Фиг. 31	присутствует	присутствует	2153	2373	2301	2432	-72	0,4	0,1	20	-3,60	C
Сравнительный пример 2	Фиг. 32	отсутствует	отсутствует	2159	2373	—	—	—	—	—	—	—	D

[0172]

В моделированиях Примеров 8–12, показанных в Таблице 2, как проиллюстрировано на Фиг. 12, две линии 26, 26 подачи, имеющие прямолинейную форму, были расположены параллельно боковым стенкам 37А и 37В, две линии 25, 25 облучения, имеющие прямолинейную форму, были расположены параллельно линиям 26 подачи, и пятна 27, 27 облучения были расположены на концевых частях лентообразных областей S3, S3 со стороны части 36 сливного носка между двумя парами линии 25 облучения и линии 26 подачи. При капании расплавленного титанового сплава при температуре подачи сырья T1 вдоль линий подачи 26, 26 электронный луч для удержания тепла излучался на область 23 облучения для удержания тепла расплавленного металла 5с внутри ванны 30 (излучение для удержания тепла), чтобы поддерживать температуру поверхности расплавленного металла 5с равной температуре поверхности расплавленного металла T0, и электронный луч для линейного облучения излучался сфокусированным образом вдоль линий 25, 25 облучения (линейное облучение), и электронный луч для точечного пятна излучался сфокусированным образом на пятна 27, 27 облучения (точечное облучение).

[0173]

С другой стороны, в качестве Сравнительного примера 2, как проиллюстрировано на Фиг. 17, подобное моделирование было также выполнено для случая, в котором выполнялось облучение расплавленного металла 5с для удержания тепла, но линейное облучение вдоль линий 25, 25 облучения и точечное облучение пятен 27, 27 облучения не выполнялось.

[0174]

Использовавшиеся в Примерах 8–12 и Сравнительном примере 2 различные температуры T0, T1, T2 и T3, выход Q2 электронного луча для линейного облучения, выход Q3 электронного луча для точечного облучения, расстояние L между линией 25 облучения и линией 26 подачи, температурный градиент $\Delta T/L$ и т.п. показаны в вышеупомянутой Таблице 2. Другие условия были теми же самыми, что и в вышеупомянутых Примерах 1–7. Кроме того, что касается критериев для оценки эффекта удаления ВНП (по четырехбалльной шкале от А до D), критерии оценки были сделаны такими же, как и в вышеупомянутых Примерах 1–7, за исключением того, что в качестве справочного значения (100%) вместо Сравнительного примера 1 был принят Сравнительный пример 2.

[0175]

Далее будут описаны результаты моделирования и оценка вытекающего количества ВНП для Примеров 8–12 и Сравнительного примера 2. Фиг. 27–31 показывают результаты моделирования для Примеров 8–12, соответственно, а Фиг. 32 показывает результат моделирования для Сравнительного примера 2. Следует отметить, что на диаграммах температурного распределения в левой части Фиг. 27–31, два пятна с высокой температурой, которые находятся со стороны правого конца линий 26, 26 подачи,

означают вышеупомянутые пятна 27, 27 облучения.

[0176]

В Примере 8, как проиллюстрировано на Фиг. 27, хотя можно было предотвратить ситуацию, когда ВНП около линий 26 подачи пересекают линии 25 облучения и вытекают ближе к центральной части в направлении ширины (направлении X) ванны 30, некоторое количество ВНП текло в продольном направлении (направлении Y) ванны 30 через лентообразные области S3 между линиями 26 подачи и линиями 25 облучения. Однако было обнаружено, что поскольку электронный луч излучался сфокусированным образом на пятно 27 облучения на концевой части каждой лентообразной области S3 (справа на чертеже) со стороны части 36 сливного носка, как проиллюстрировано на диаграмме линий потока справа на Фиг. 27, ВНП не проходят за положение пятна 27 облучения и текут к части 36 сливного носка, и таким образом можно предотвратить вытекание ВНП из части 36 сливного носка в литейную форму 40. В результате в Примере 8 вытекающее количество ВНП также было низким, менее чем 0,1% от вытекающего количества ВНП в Сравнительном примере 2, и таким образом эффект удаления ВНП был оценен как А.

[0177]

Аналогичным образом в Примере 9 и Примере 10, как проиллюстрировано на диаграмме линий потока справа на Фиг. 28 и Фиг. 29, также было найдено, что ВНП не проходят за положение пятна 27 облучения у правого конца лентообразных областей S3 и не текут к части 36 сливного носка. В результате в Примере 9 и Примере 10 вытекающее количество ВНП также было низким, менее чем 0,1% от вытекающего количества ВНП в Сравнительном примере 2, и таким образом эффект удаления ВНП был оценен как А.

[0178]

Считается, что причина этого является следующей. В Примерах 8–10, поскольку температурный градиент $\Delta T/L$ находился в диапазоне от $-2,70$ К/мм до менее чем $0,00$ К/мм, потоки 61 расплавленного металла от линий 25 облучения к линиям 26 подачи, которые проиллюстрированы на Фиг. 8, не могли подавить потоки 62 расплавленного металла от линий 26 подачи к линиям 25 облучения, и потоки 66 расплавленного металла в направлении Y образовывались в лентообразных областях S3 между линиями 26 подачи и линиями 25 облучения. В этой связи считается, что в том случае, когда точечное облучение не выполняется, как в вышеупомянутых Примерах 4 и 5, некоторое количество ВНП увлекается потоками 61 расплавленного металла, проиллюстрированными на Фиг. 8, и течет к части 36 сливного носка. Однако в Примерах 8–10, как проиллюстрировано на Фиг. 12, электронный луч излучался на пятна 27 облучения, расположенные на концевой части потока 66 расплавленного металла каждой лентообразной области S3 со стороны части 36 сливного носка, и формировалась область высокой температуры, в которой температура была равна температуре пятна облучения T3, то есть более высокой, чем T1. Следовательно, считается, что в положениях пятен 27 облучения нитрид титана в ВНП, содержащихся в потоках 66 расплавленного металла, растворялся в расплавленном металле 5с под воздействием тепла, удаляя тем самым ВНП.

[0179]

Далее, в Примере 11, как проиллюстрировано на Фиг. 30, было найдено, что все ВНП в окрестности линий 26 подачи увлекались к боковым стенкам 37А и 37В потоками 61 расплавленного металла от линий 25 облучения и улавливались гарнисажем 7, что препятствовало вытеканию ВНП из части 36 сливного носка в литейную форму 40. В результате в Примере 11 вытекающее количество ВНП было низким, менее чем 0,1% от вытекающего количества ВНП в Сравнительном примере 2, и таким образом эффект удаления ВНП был оценен как А.

[0180]

Считается, что причина этого является следующей. В вышеупомянутом Примере 11 температура линии облучения Т2 была более высокой, чем температура подачи сырья Т1, и температурный градиент $\Delta T/L$ между линиями 26 подачи и линиями 25 облучения составлял +0,70 К/мм, что было существенно больше, чем 0,00 К/мм, что является вышеупомянутым пороговым значением. Поэтому считается, что поскольку могли быть сформированы сильные потоки 61 расплавленного металла от линий 25 облучения, которые пересекают линии 26 подачи и текут к боковым стенкам 37А и 37В, управление ВНП осуществлялось подходящим образом так, чтобы они не текли к части 36 сливного носка, и таким образом надежно предотвращалось вытекание ВНП в литейную форму 40. Соответственно, в отношении Примера 11 считается, что даже если бы точечное облучение не выполнялось, вытекание ВНП могло бы быть надлежащим образом предотвращено.

[0181]

Далее, в Примере 12, как проиллюстрировано на Фиг. 31, течение ВНП около линий 26 подачи к центральной части в направлении ширины (направлении Х) ванны 30 могло до некоторой степени предотвращаться областями высокой температуры около линий 25 облучения. Однако некоторое количество ВНП текло от линий 26 подачи через линии 25 облучения к центральной части в направлении ширины (направлении Х) ванны 30, а затем текло в направлении Y к части 36 сливного носка от центральной части, и некоторое количество ВНП вытекало из части 36 сливного носка. В результате в Примере 12 вытекающее количество ВНП находилось в диапазоне от 1% до менее чем к 5% от вытекающего количества ВНП в Сравнительном примере 2, и таким образом эффект удаления ВНП был оценен как С.

[0182]

Считается, что причина этого является следующей. В Примере 12 температура линии облучения Т2 была более низкой, чем температура подачи сырья Т1, и температурный градиент $\Delta T/L$ составлял -3,60 К/мм, что было меньше вышеупомянутого порогового значения, равного -2,70 К/мм. Следовательно, в Примере 12 в части области, проиллюстрированной на Фиг. 9, потоки 62 расплавленного металла от линий 26 подачи к линиям 25 облучения преобладали над потоками 61 расплавленного металла от линий 25 облучения к линиям 26 подачи. Следовательно считается, что формировались потоки 67

расплавленного металла от линий 26 подачи, которые пересекали линии 25 облучения, и некоторое количество ВНП утекало к центральной части ванны 30.

[0183]

В отличие от этого, в Сравнительном примере 2, как проиллюстрировано на Фиг. 17, электронный луч не излучался вдоль линий 25 облучения. Следовательно, как проиллюстрировано на Фиг. 32, ВНП свободно вытекали из областей высокой температуры у линий 26 подачи к центральной части ванны 30 и увлекались потоком 60 расплавленного металла в центральной части ванны 30, и большое количество ВНП вытекало из части 36 сливного носка в литейную форму 40. Результат Сравнительного примера 2, в котором не был получен эффект удаления ВНП в соответствии с настоящим изобретением, был оценен как D, и был использован в качестве справочного для других примеров.

[0184]

Результаты моделирования для Примеров 8–12 и Сравнительного примера 2 были описаны выше. В соответствии с этими результатами можно сказать, что было подтверждено, что при выполнении точечного облучения электронным лучом сфокусированным образом пятен 27 облучения, как описано в Примерах 8–12, ВНП, содержащиеся в потоке 66 расплавленного металла, который течет в направлении Y в лентообразных областях S3, растворяются, и можно препятствовать поступлению ВНП к части 36 сливного носка, и таким образом количество ВНП, вытекающих из части 36 сливного носка, может быть уменьшено до менее чем 5% от аналогичного количества в Сравнительном примере 1. В частности можно сказать, что было подтверждено, что в Примерах 8–10, поскольку значение $\Delta T/L$ находится в диапазоне от $-2,70$ К/мм до менее чем $0,00$ К/мм, в том случае, когда поток 66 расплавленного металла, который течет в направлении Y к части 36 сливного носка, образуется в лентообразной области S3 (см. Фиг. 9), эффективно выполнять излучение электронного луча сфокусированным образом на пятно 27 облучения.

[0185]

В то время как предпочтительные варианты осуществления настоящего изобретения были подробно описаны выше со ссылкой на приложенные чертежи, настоящее изобретение не ограничивается вышеописанными примерами. Очевидно, что специалист в данной области техники будет в состоянии разработать различные примеры изменений и модификаций в пределах технической идеи, описанной в прилагаемой формуле изобретения, и следует понимать, что такие примеры будут естественно принадлежать к технической области охвата настоящего изобретения.

[0186]

Выше были приведены главным образом примеры производства слитка 50 из титана с использованием ванны 30 и литейной формы 40, в которых металлическое сырье 5, являющееся объектом плавления для способа производства металлического слитка согласно настоящим вариантам осуществления является, например, сырьем из титана или

титанового сплава. Однако способ производства металлического слитка по настоящему изобретению также применим к тем случаям, в которых плавится металлическое сырье, отличающееся от титанового сырья, и производится слиток из соответствующего металлического сырья. В частности, способ производства металлического слитка по настоящему изобретению также применим к случаю производства слитка активного металла с высокой температурой плавления, в котором можно произвести слиток, используя электронную пушку, способную управлять положением облучения электронным лучом, и электронно-лучевую печь, имеющую ванну, которая накапливает расплавленный металл из металлического сырья, в частности такого, как тантал, ниобий, ванадий, молибден или цирконий. Другими словами, настоящее изобретение может быть особенно применено эффективно к случаю производства слитка, содержащего соответствующие упомянутые элементы в общем количестве 50 мас.% или больше.

СПИСОК ССЫЛОЧНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

[0187]

1 – Электронно-лучевая плавильная печь (ЭЛ-печь)

5 – Металлическое сырье

5с – Расплавленный металл

7 – Гарнисаж

8 – ВМП

10А, 10В – Часть подачи сырья

20А, 20В – Электронная пушка для плавления сырья

20С, 20D – Электронная пушка для поддержания температуры расплавленного металла

20Е – Электронная пушка для линейного облучения

23 – Область облучения для сохранения тепла

25 – Первая линия облучения

26 – Линия подачи

27 – Пятно облучения

28 – Вторая линия облучения

30 – Ванна очистки

36 – Часть сливного носка

37А, 37В, 37С – Вторая боковая стенка

37D – Первая боковая стенка

40 – Литейная форма

50 – Слиток

61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68 – Поток расплавленного металла

S3 – Лентообразная область

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ производства металлического слитка посредством использования электронно–лучевой печи, имеющей электронную пушку, выполненную с возможностью управления положением облучения электронным лучом, и ванну, которая накапливает расплавленный металл из металлического сырья, причем металлический слиток содержит в сумме 50 мас.% или больше по меньшей мере одного металлического элемента, выбираемого из группы, состоящей из титана, тантала, ниобия, ванадия, молибдена и циркония, причем:

среди множества боковых стенок ванны, которая накапливает расплавленный металл из металлического сырья, первая боковая стенка является боковой стенкой, снабженной частью сливного носка для вытекания расплавленного металла из ванны в литейную форму, а вторая боковая стенка является по меньшей мере одной из боковых стенок, отличных от первой боковой стенки;

металлическое сырье подают в положение на линии подачи, которая расположена вдоль внутренней поверхности второй боковой стенки на поверхности расплавленного металла;

первый электронный луч излучают вдоль первой линии облучения, располагающейся вдоль линии подачи и находящейся ближе к центральной части ванны относительно линии подачи на поверхности расплавленного металла; и

излучение первого электронного луча вдоль первой линии облучения увеличивает температуру поверхности (T2) расплавленного металла на первой линии облучения выше средней температуры поверхности (T0) всей поверхности расплавленного металла в ванне, и формирует в наружном слое расплавленного металла первый расплавленный металл, текущий от первой линии облучения к линии подачи.

2. Способ производства металлического слитка по п. 1, в котором температурный градиент $\Delta T/L$, представленный нижеприведенной Формулой (A), составляет $-2,70$ [К/мм] или больше:

$$\Delta T/L = (T2-T1)/L \text{ (A)}$$

где T1: температура поверхности [К] расплавленного металла на линии подачи,

T2: температура поверхности [К] расплавленного металла на первой линии облучения,

L: расстояние [мм] между первой линией облучения и линией подачи на поверхности расплавленного металла.

3. Способ производства металлического слитка по п. 2, в котором:

значение $\Delta T/L$ равно $0,00$ [К/мм] или больше, и

первый поток расплавленного металла, который вытекает от первой линии облучения через линию подачи к внутренней поверхности второй боковой стенки, формируется в наружном слое расплавленного металла.

4. Способ производства металлического слитка по любому из пп. 1–3, в котором:

металлическое сырье плавится в части подачи сырья, и расплавленное

металлическое сырье капает из части подачи сырья на некоторое положение на линии подачи расплавленного металла в ванне.

5. Способ производства металлического слитка по любому из пп. 1–4, в котором: на поверхности расплавленного металла оба конца первой линии облучения располагают на внешней стороне в направлении прохождения линии подачи относительно обоих концов линии подачи.

6. Способ производства металлического слитка по любому из пп. 1–5, в котором: второй поток расплавленного металла в направлении к части сливного носка формируется в лентообразной области между линией подачи и первой линией облучения, и

второй электронный луч излучают в виде пятна на второй поток расплавленного металла.

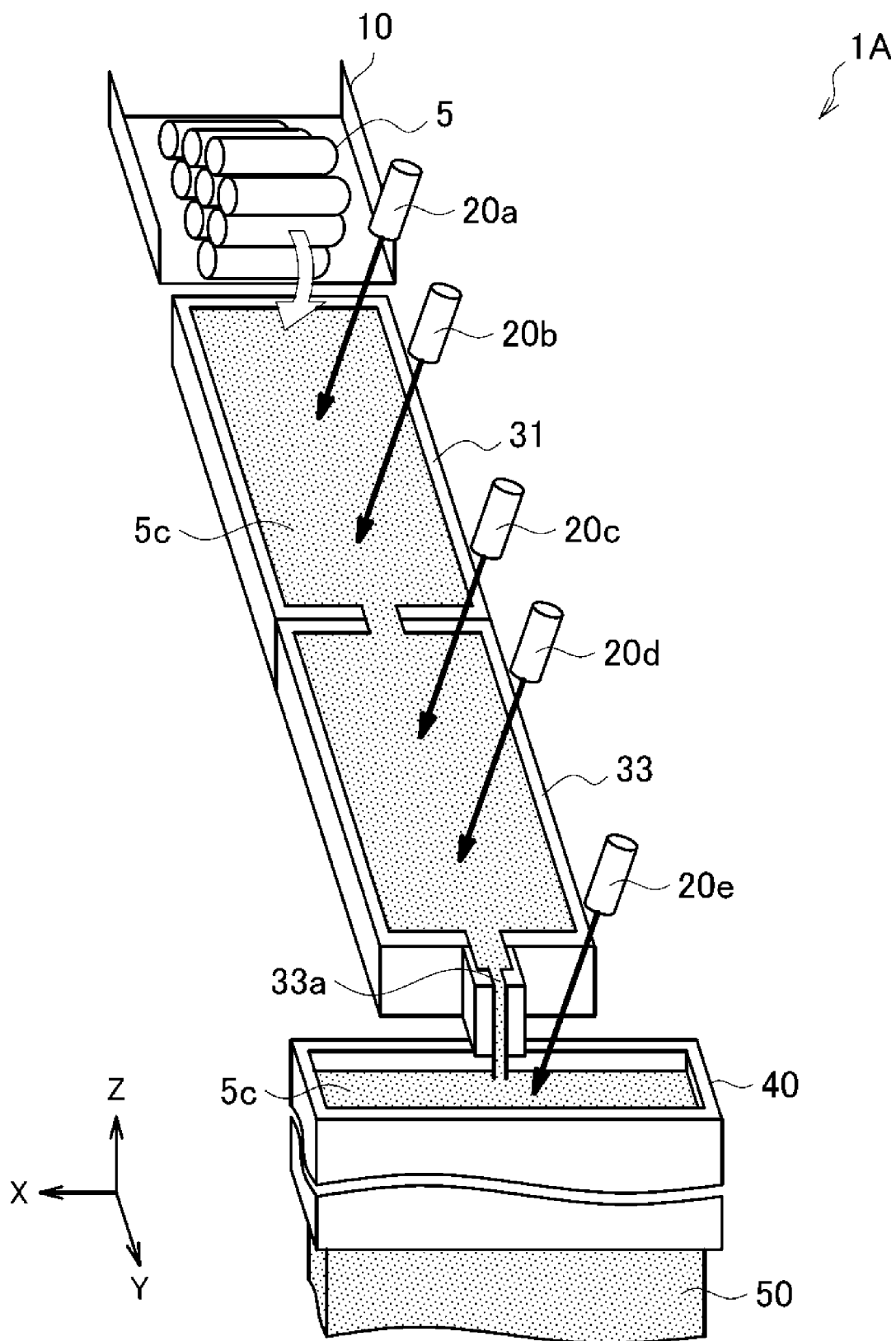
7. Способ производства металлического слитка по п. 6, в котором: второй электронный луч точно излучают на второй поток расплавленного металла в положении пятна облучения, которое расположено на концевой части лентообразной области, со стороны части сливного носка.

8. Способ производства металлического слитка по любому из пп. 1–7, в котором: третий электронный луч излучают вдоль второй линии облучения, располагаемой таким образом, чтобы она блокировала часть сливного носка, на поверхности расплавленного металла, и оба конца второй линии облучения располагались в непосредственной близости от первой боковой стенки.

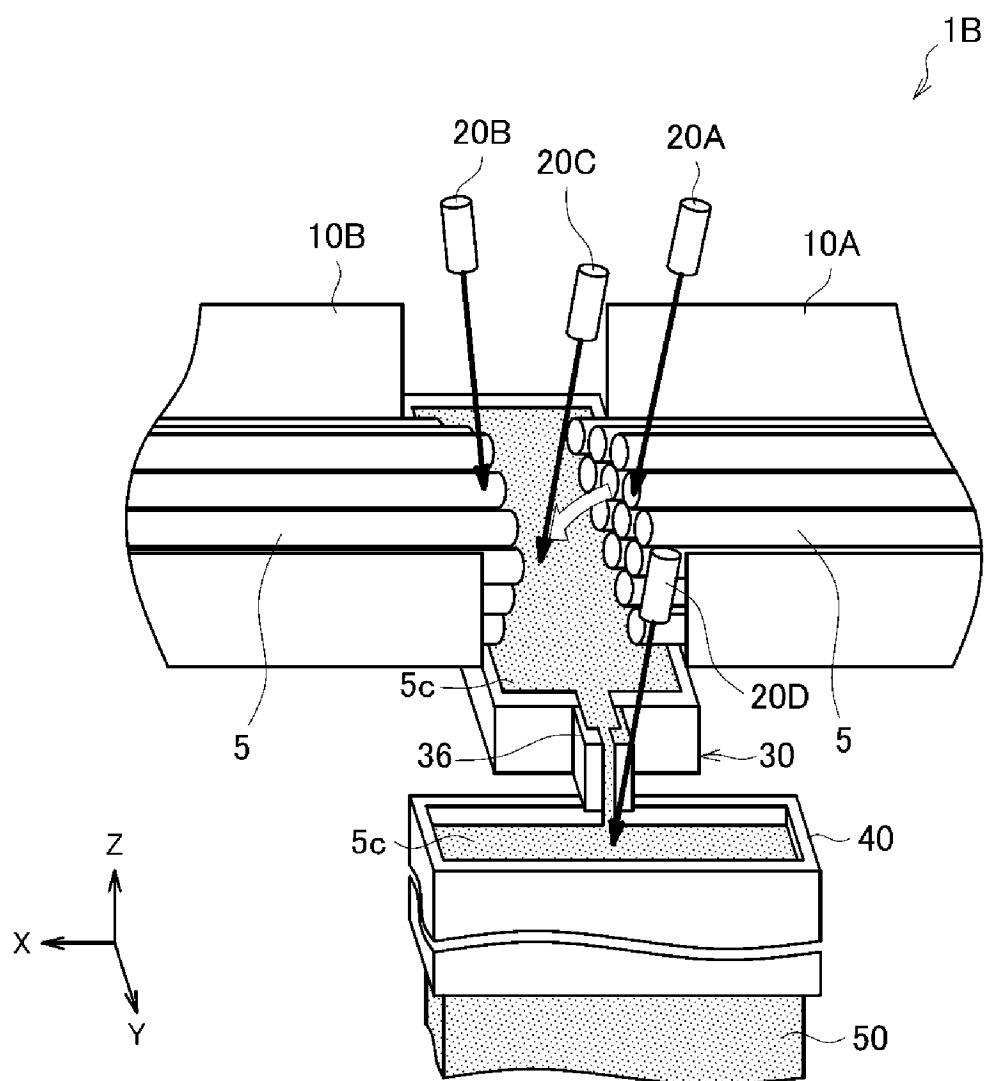
9. Способ производства металлического слитка по любому из пп. 1–8, в котором металлическое сырье содержит 50 мас.% или больше элементарного титана.

По доверенности

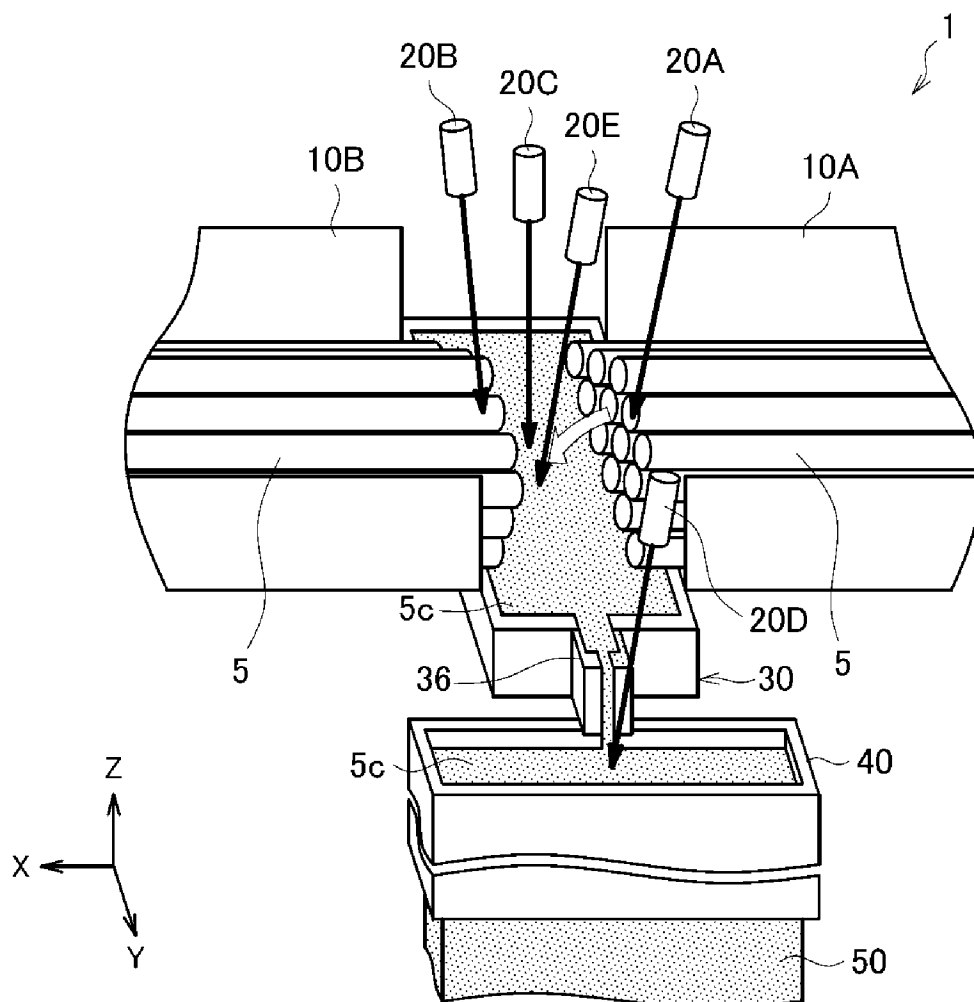
ФИГ. 1



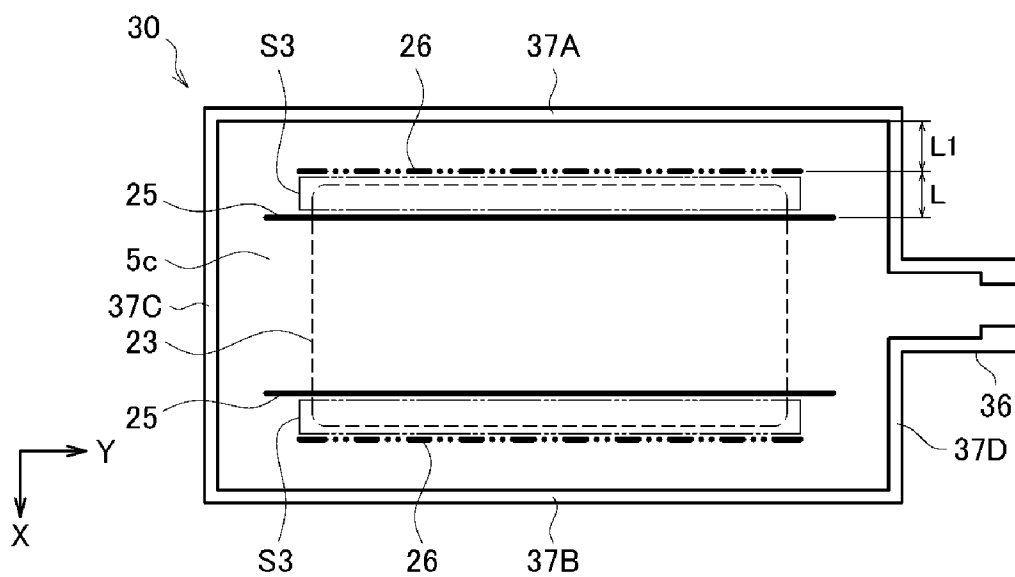
ФИГ. 2



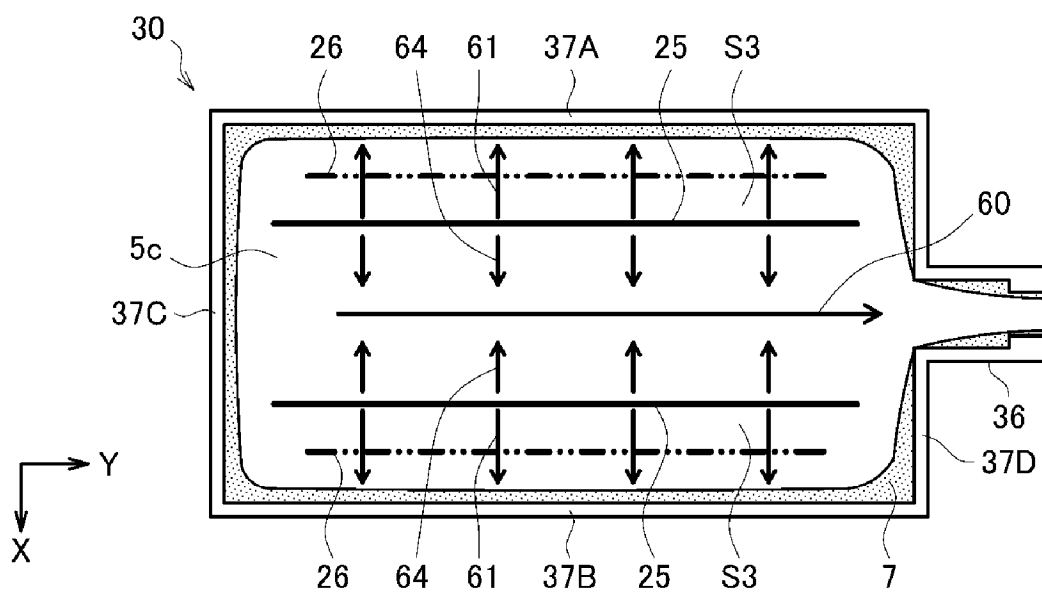
ФИГ. 3



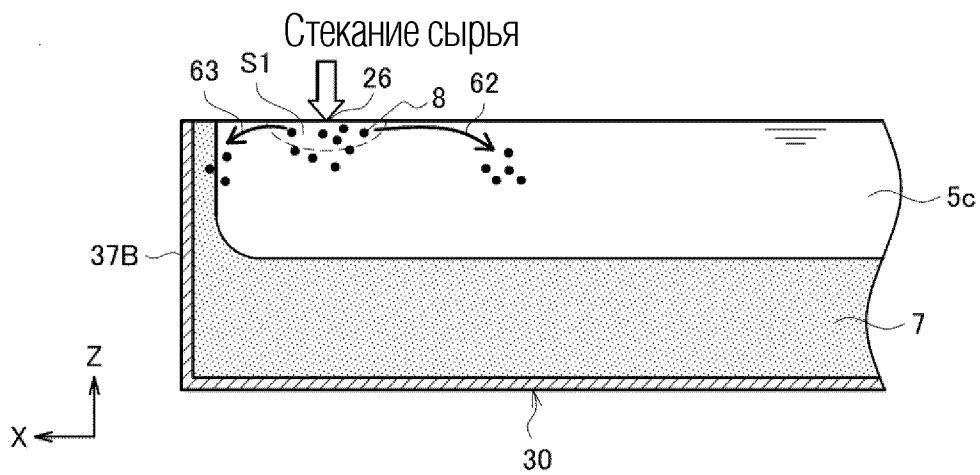
ФИГ. 4



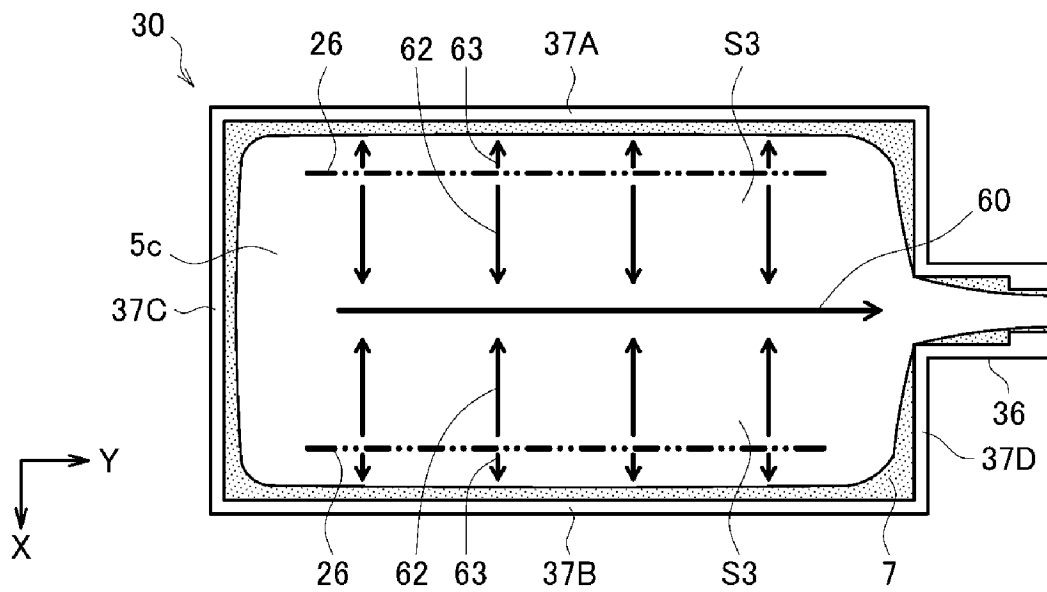
ФИГ. 5



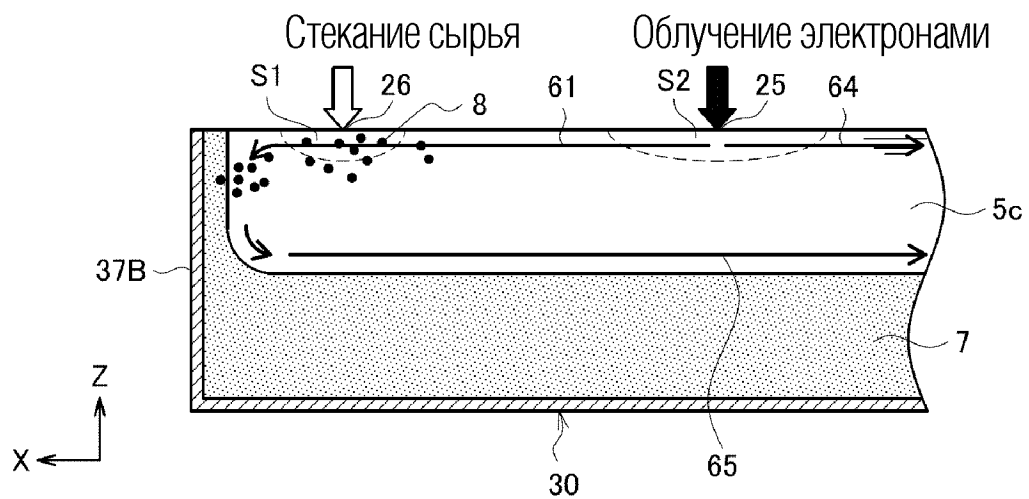
ФИГ. 6А

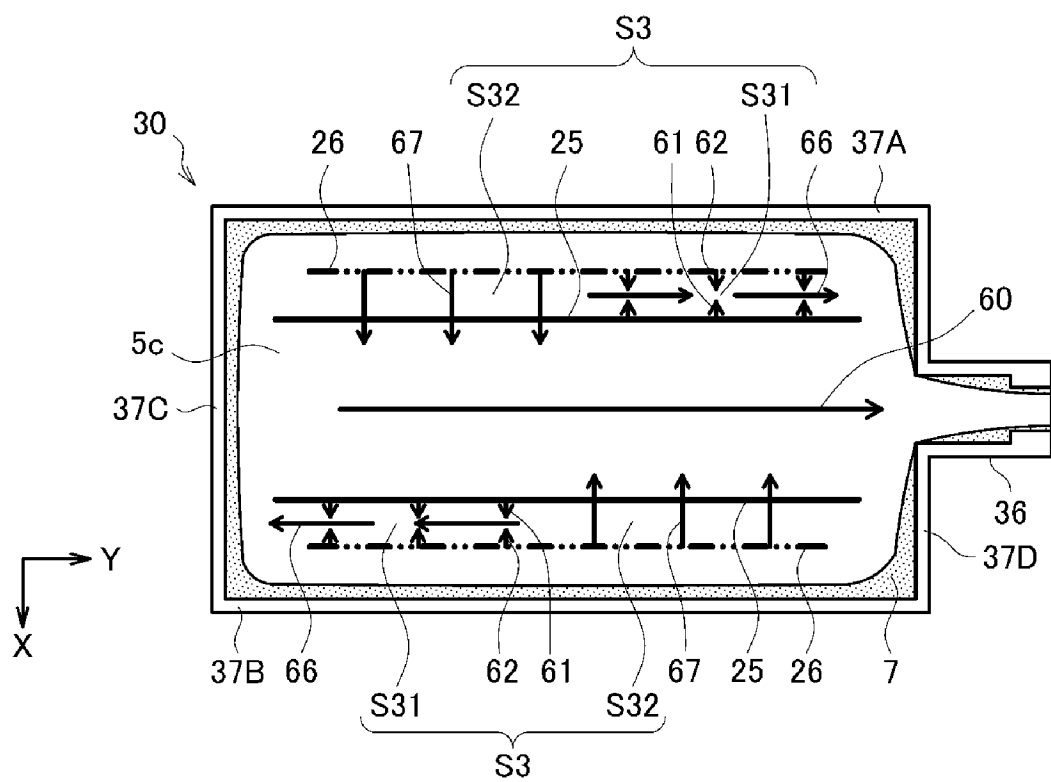


ФИГ. 6В

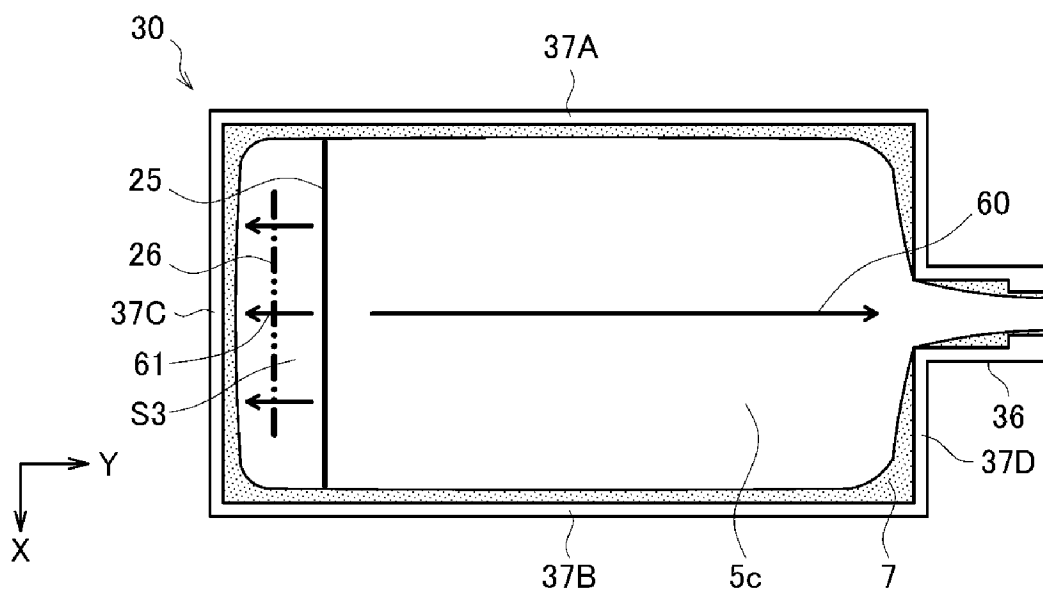


ФИГ. 7

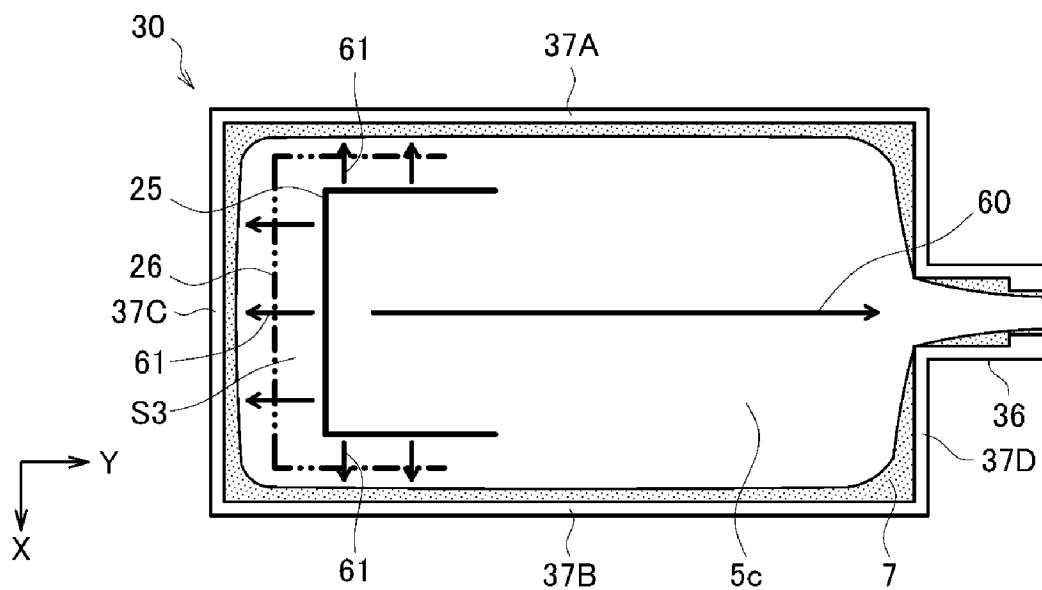




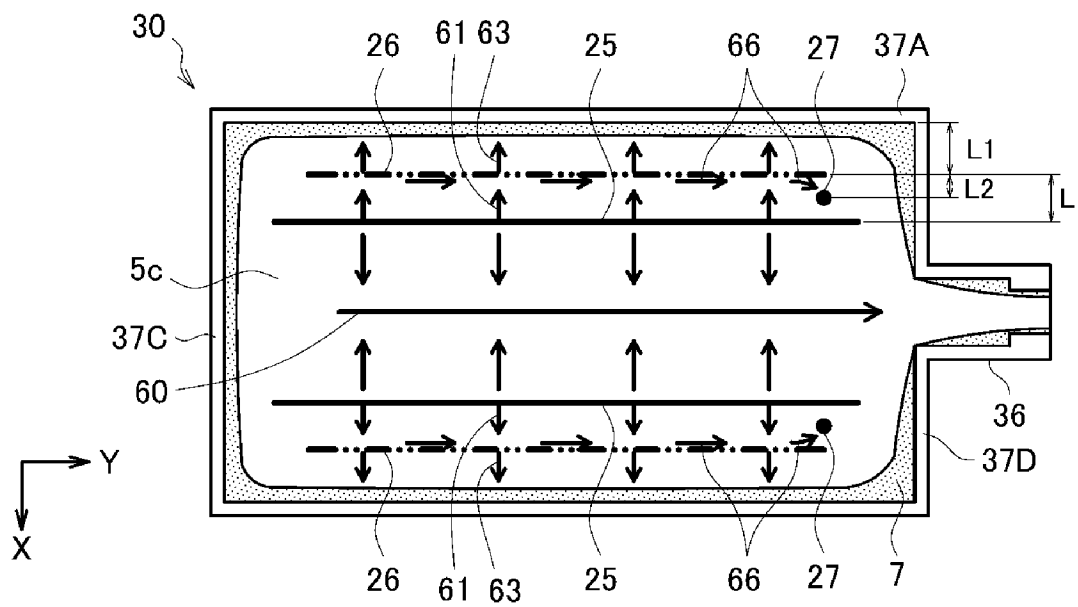
ФИГ. 10



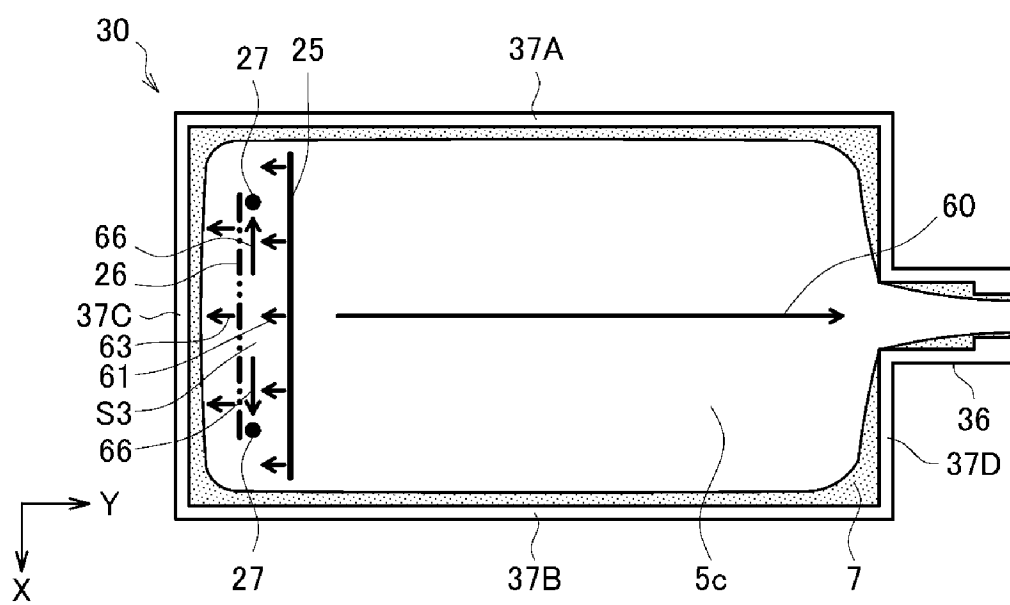
ФИГ. 11



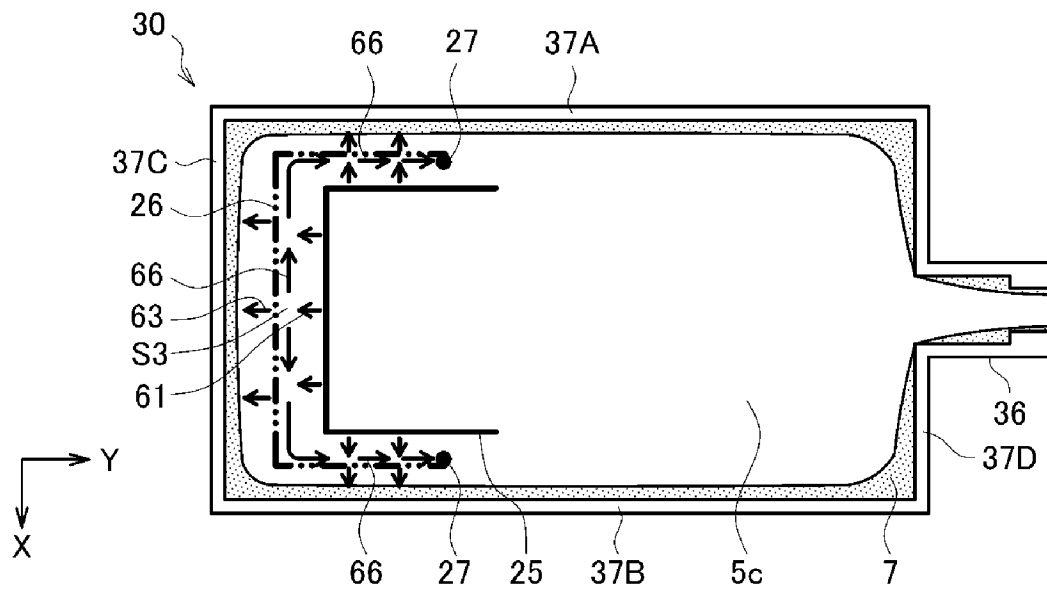
ФИГ. 12



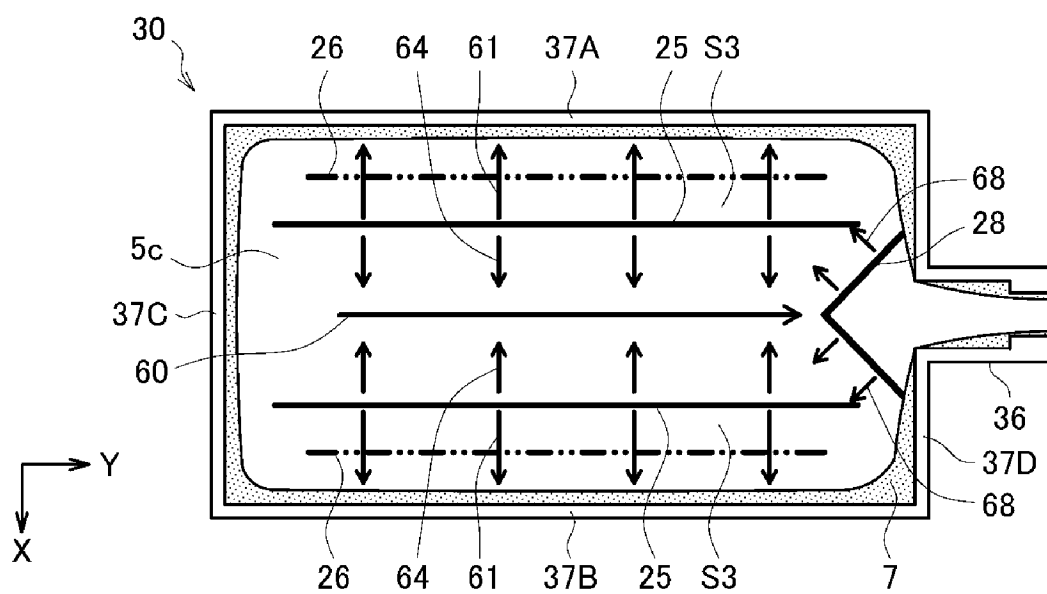
ФИГ. 13



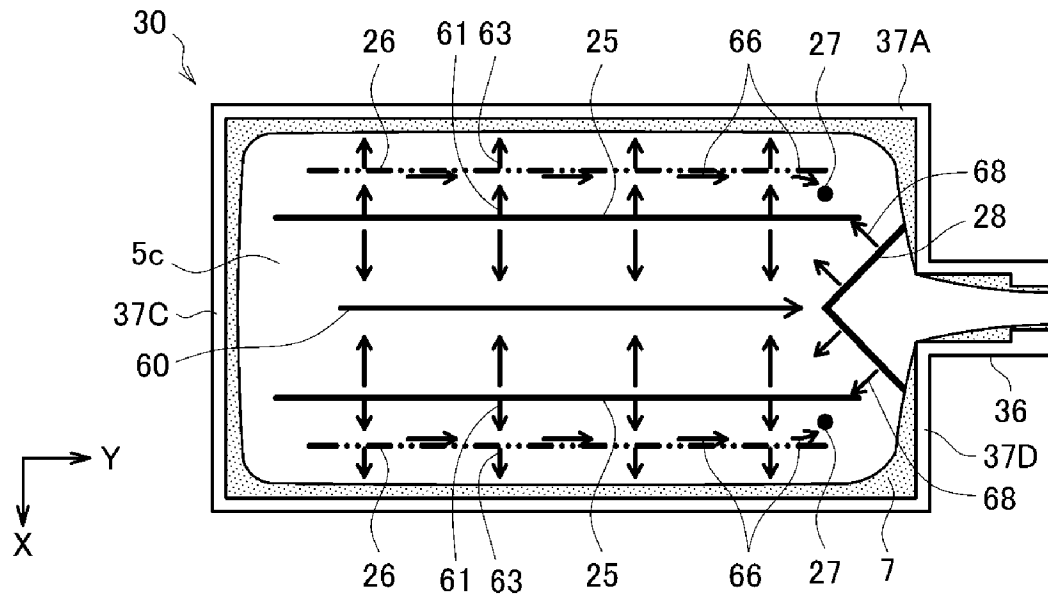
ФИГ. 14



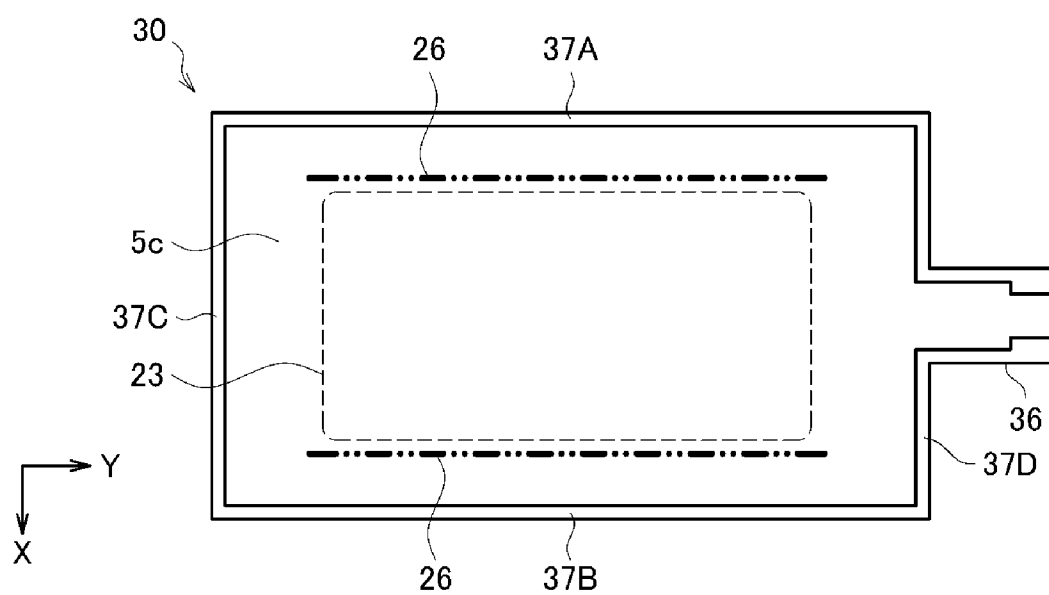
ФИГ. 15



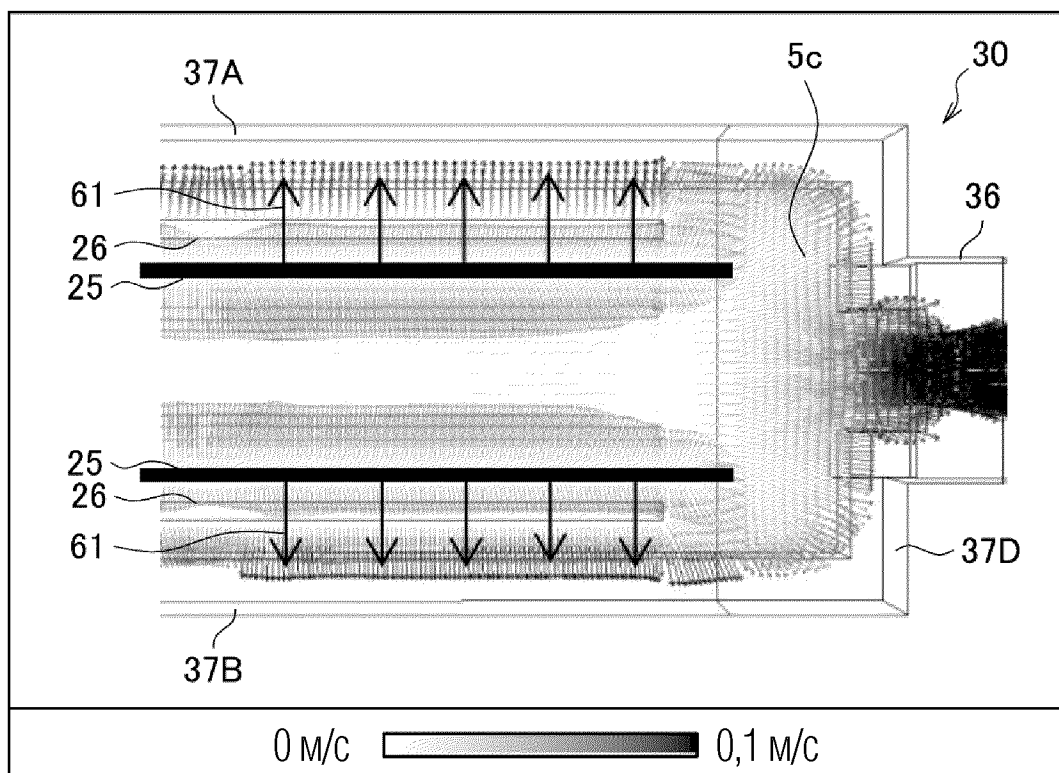
ФИГ. 16



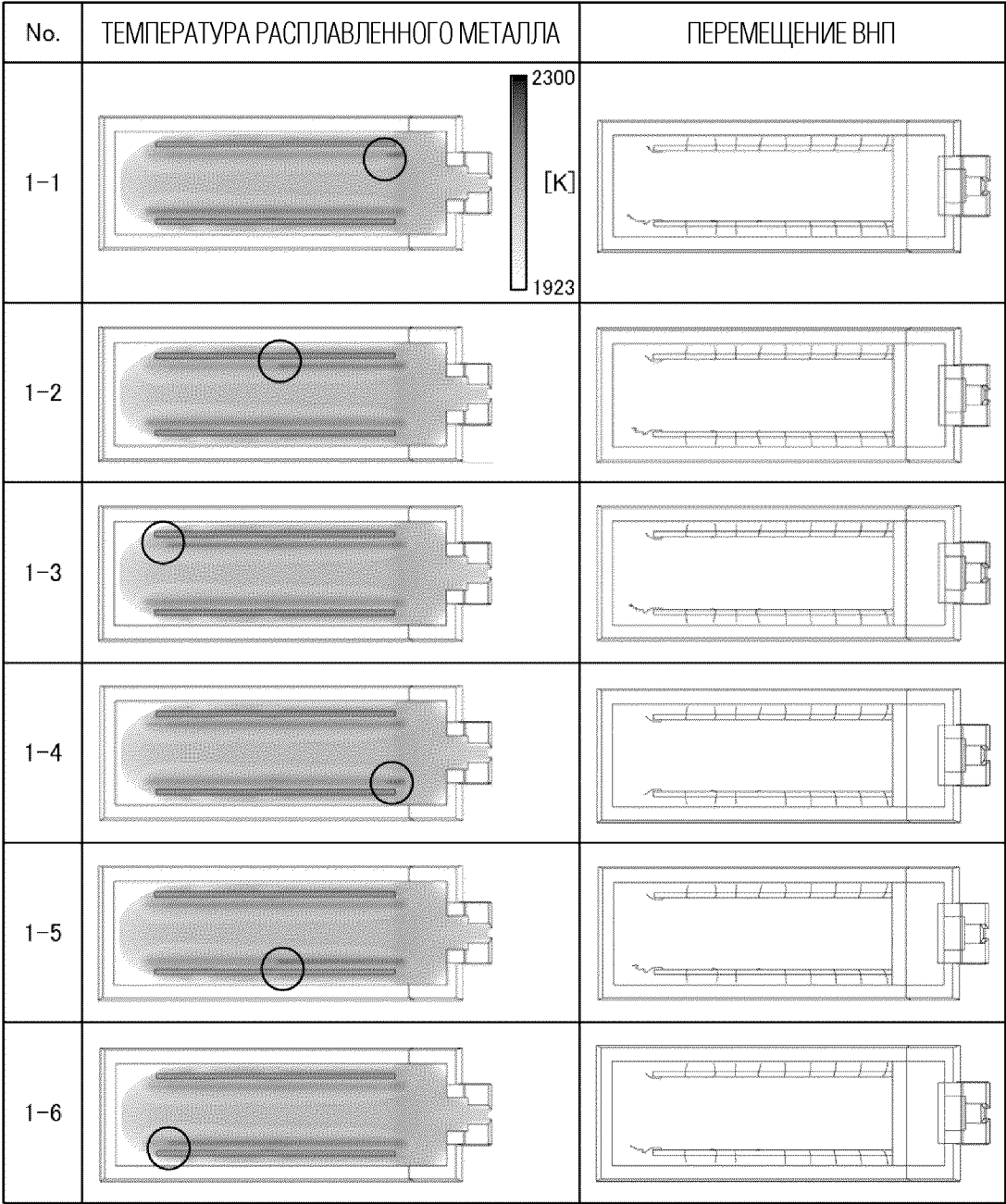
ФИГ. 17



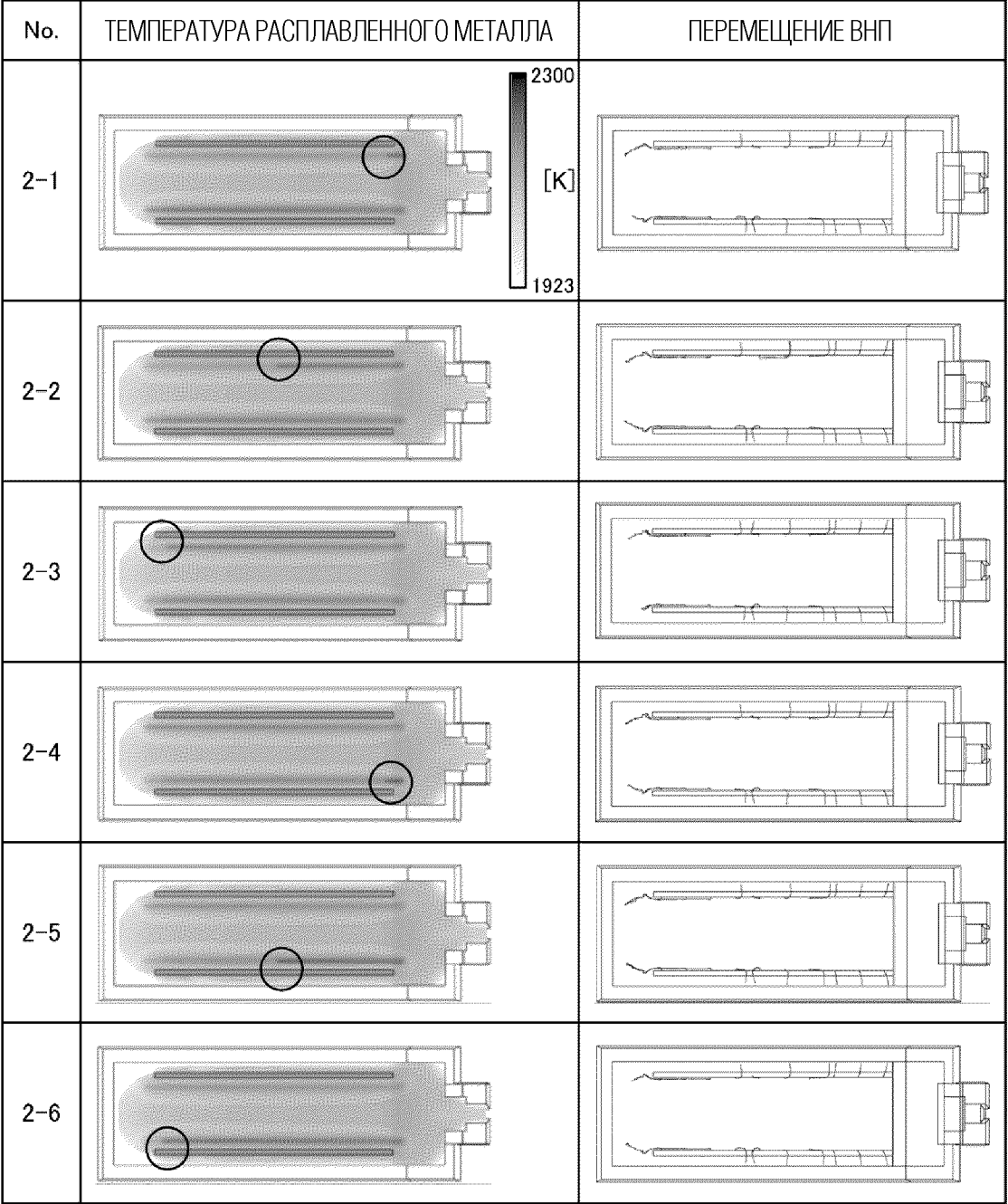
ФИГ. 18



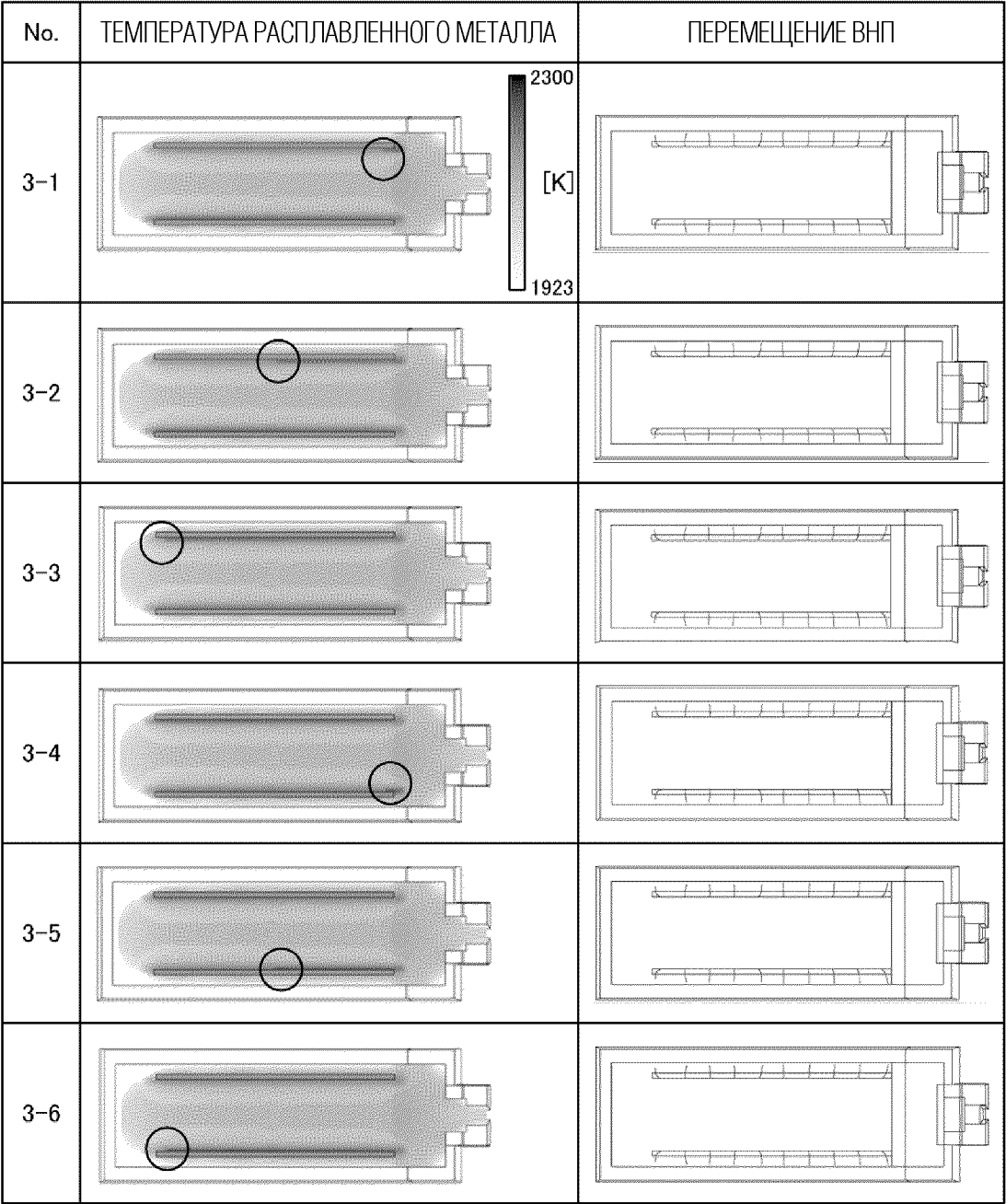
ФИГ. 19



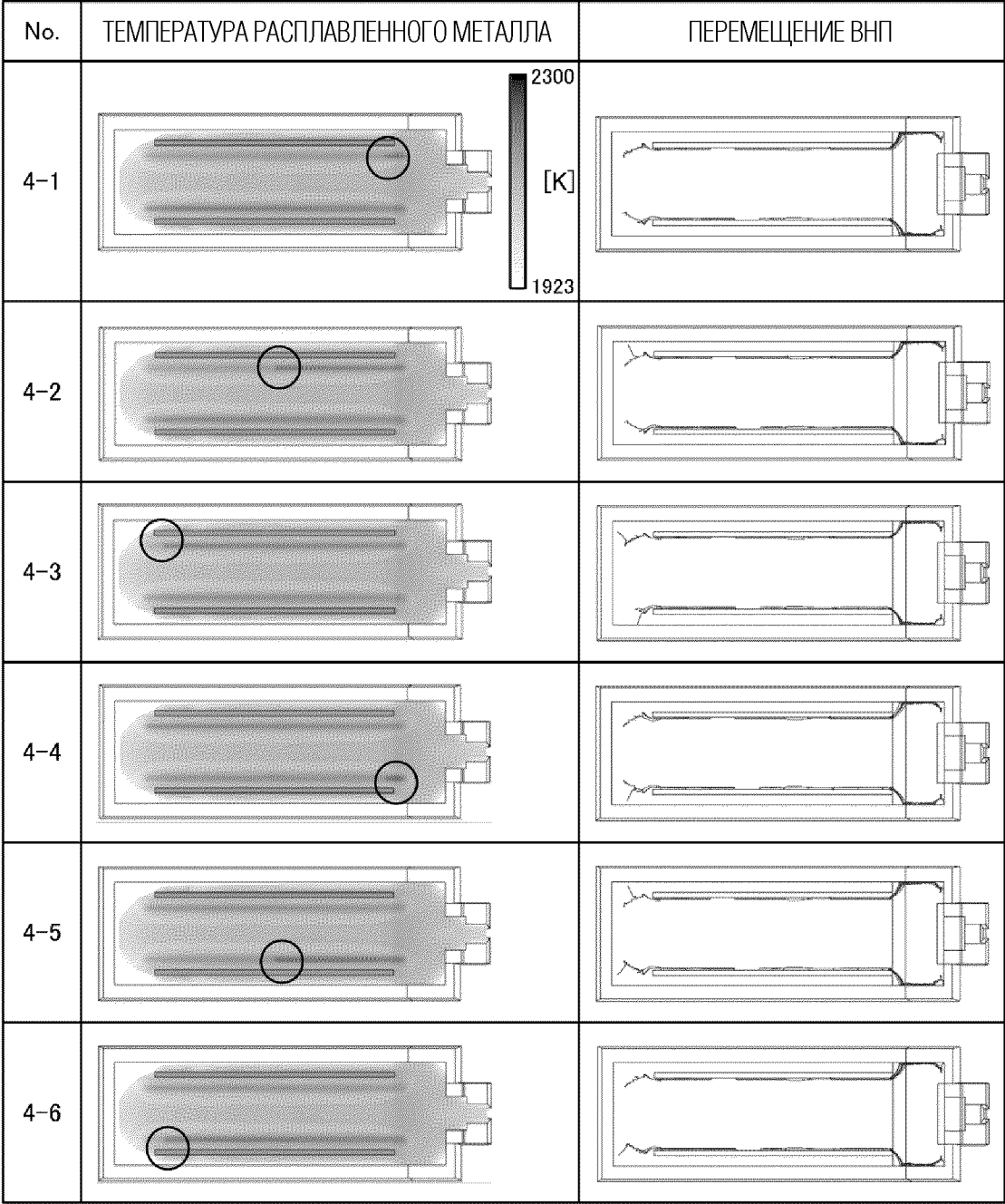
ФИГ. 20



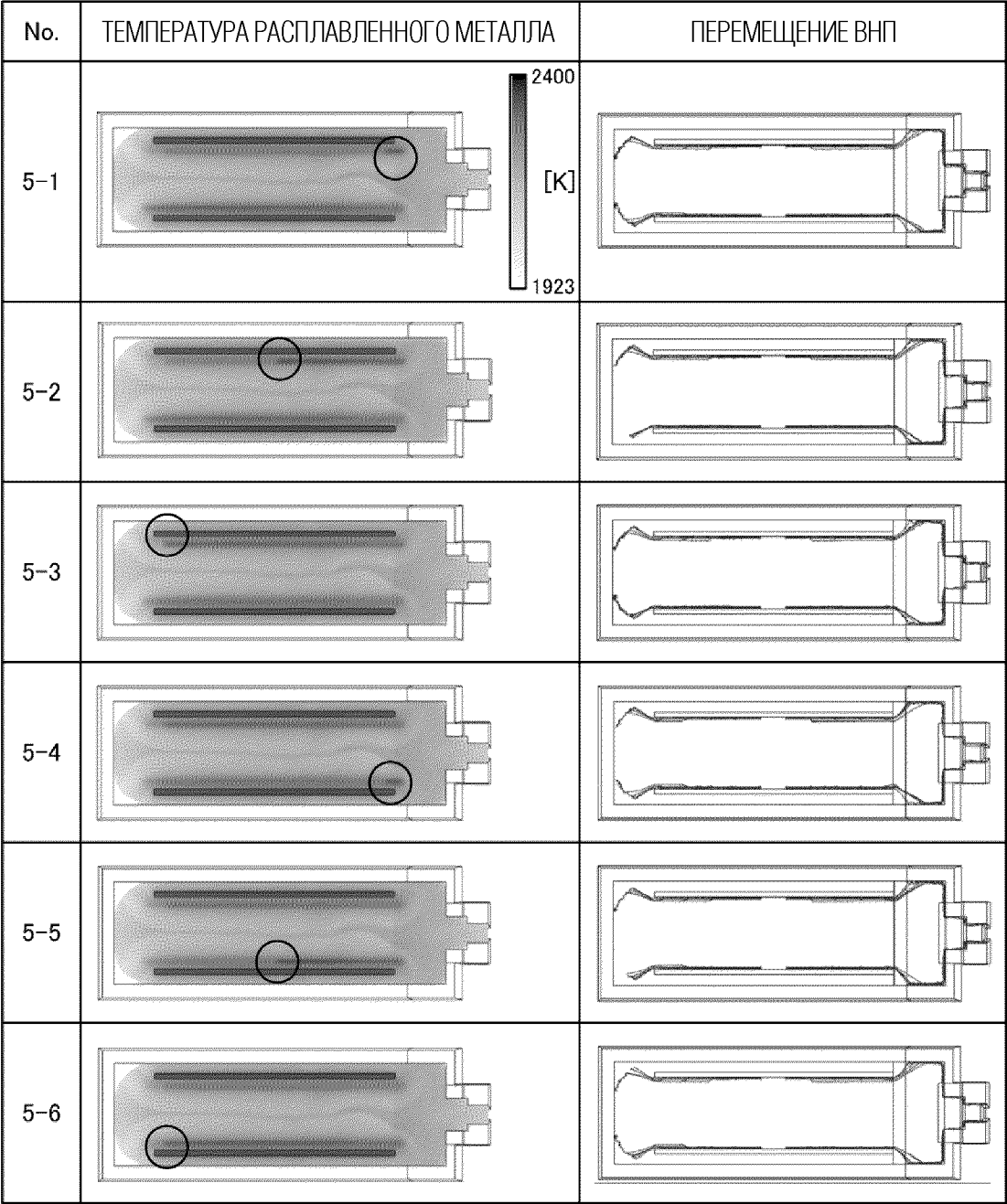
ФИГ. 21



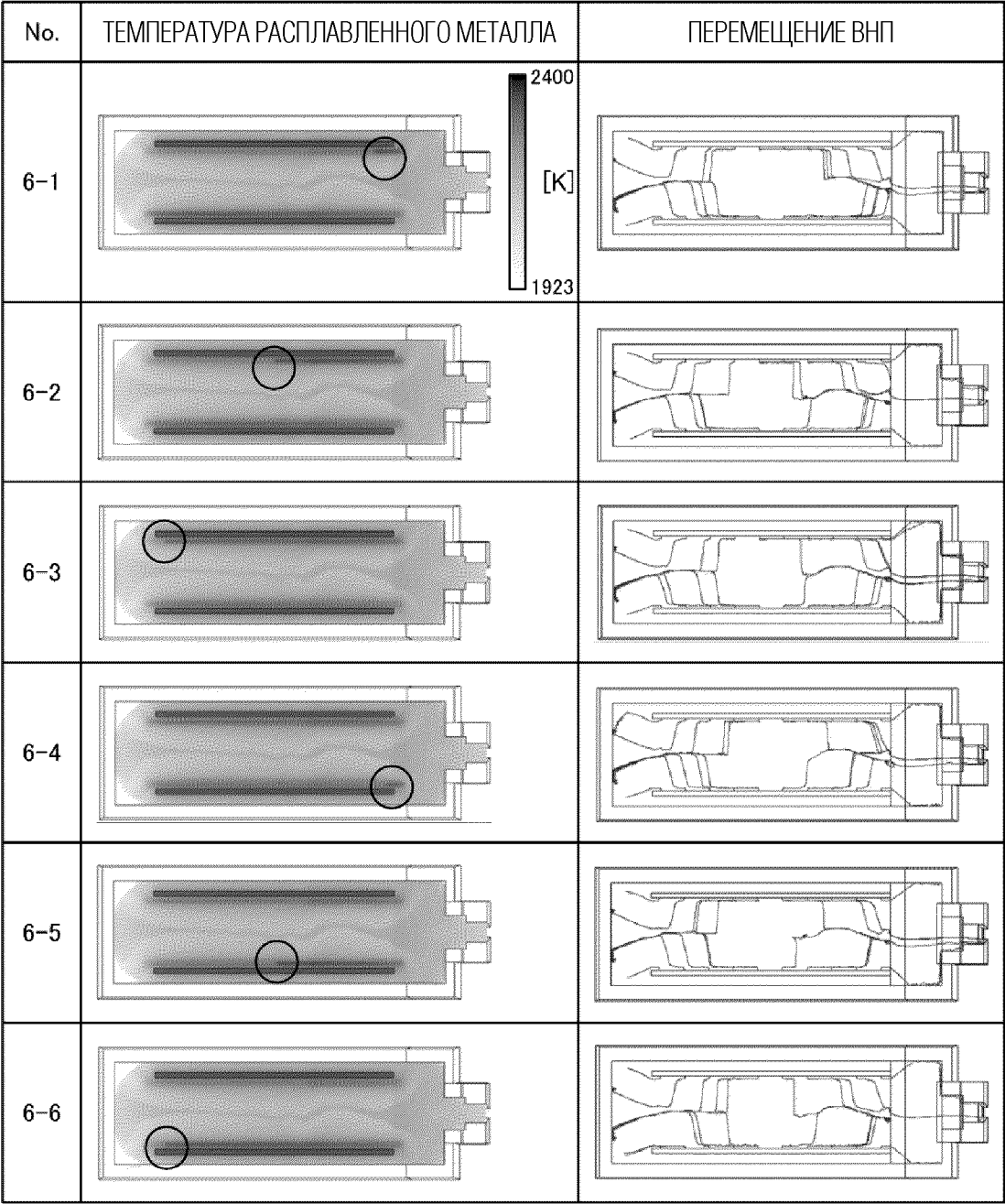
ФИГ. 22



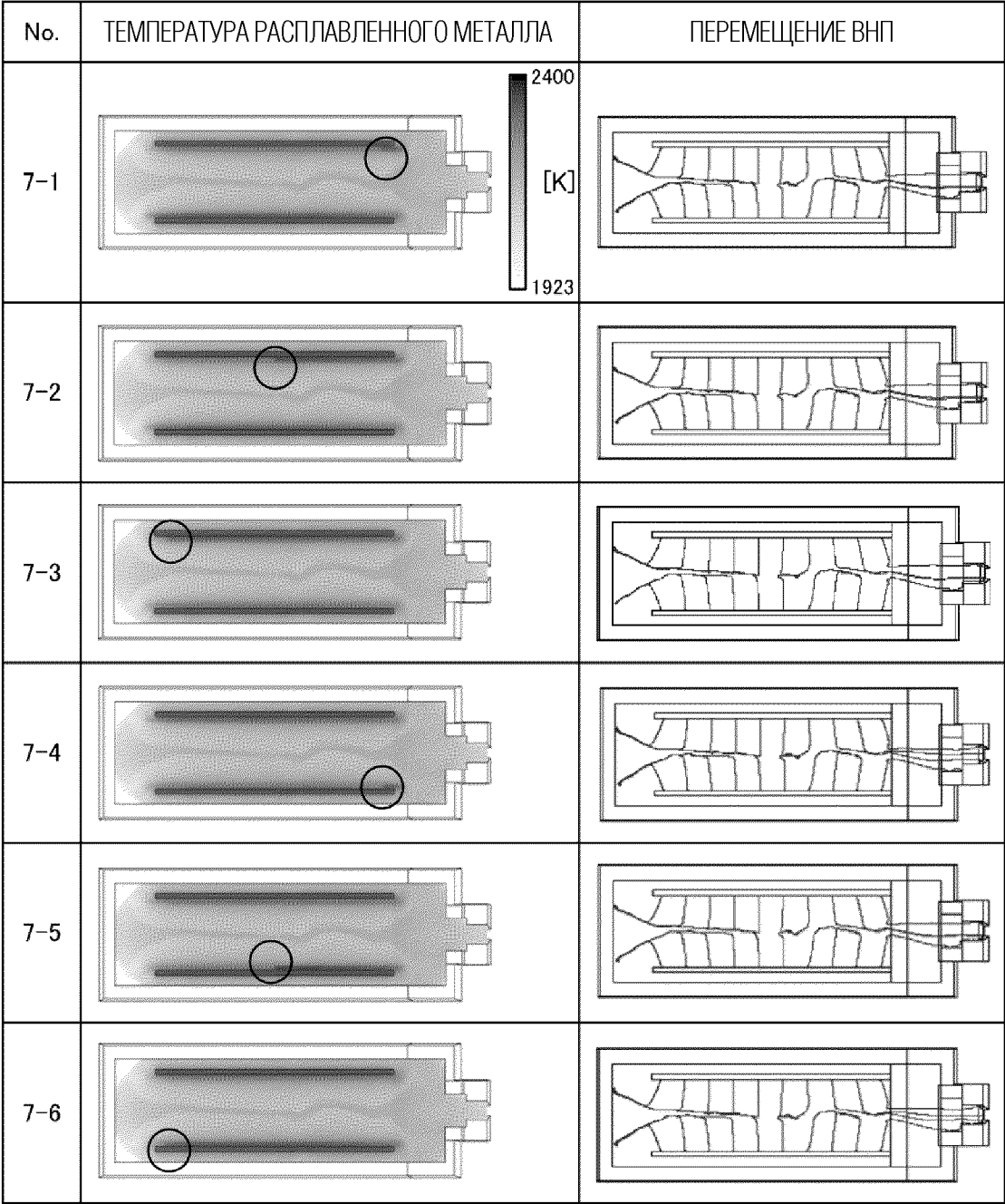
ФИГ. 23



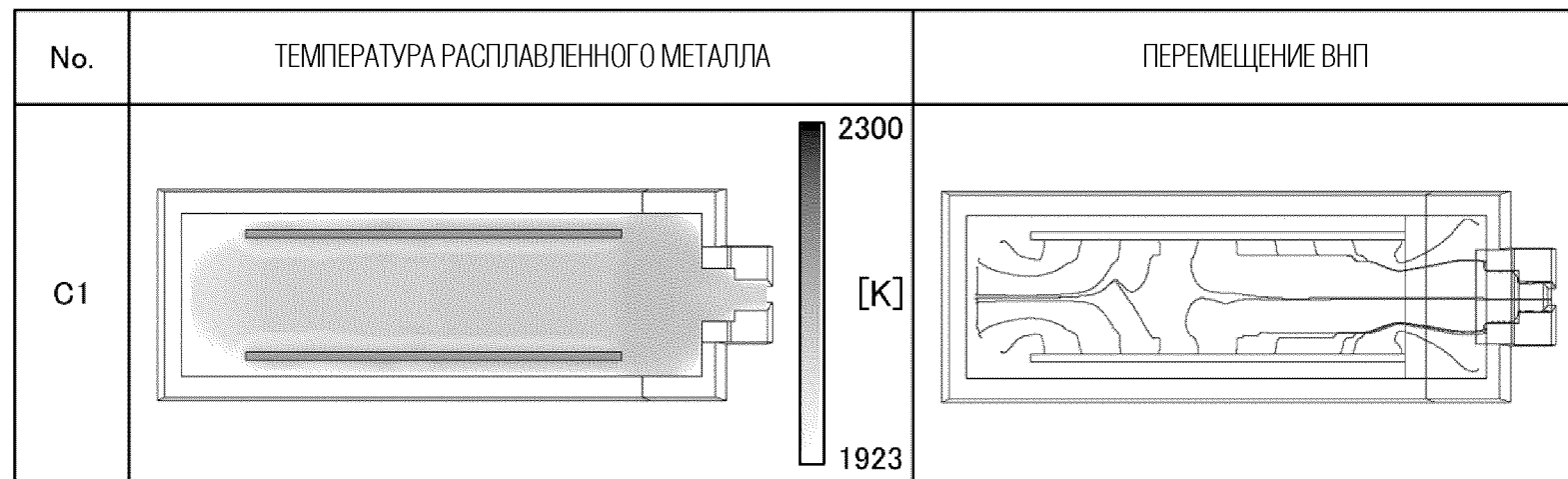
ФИГ. 24



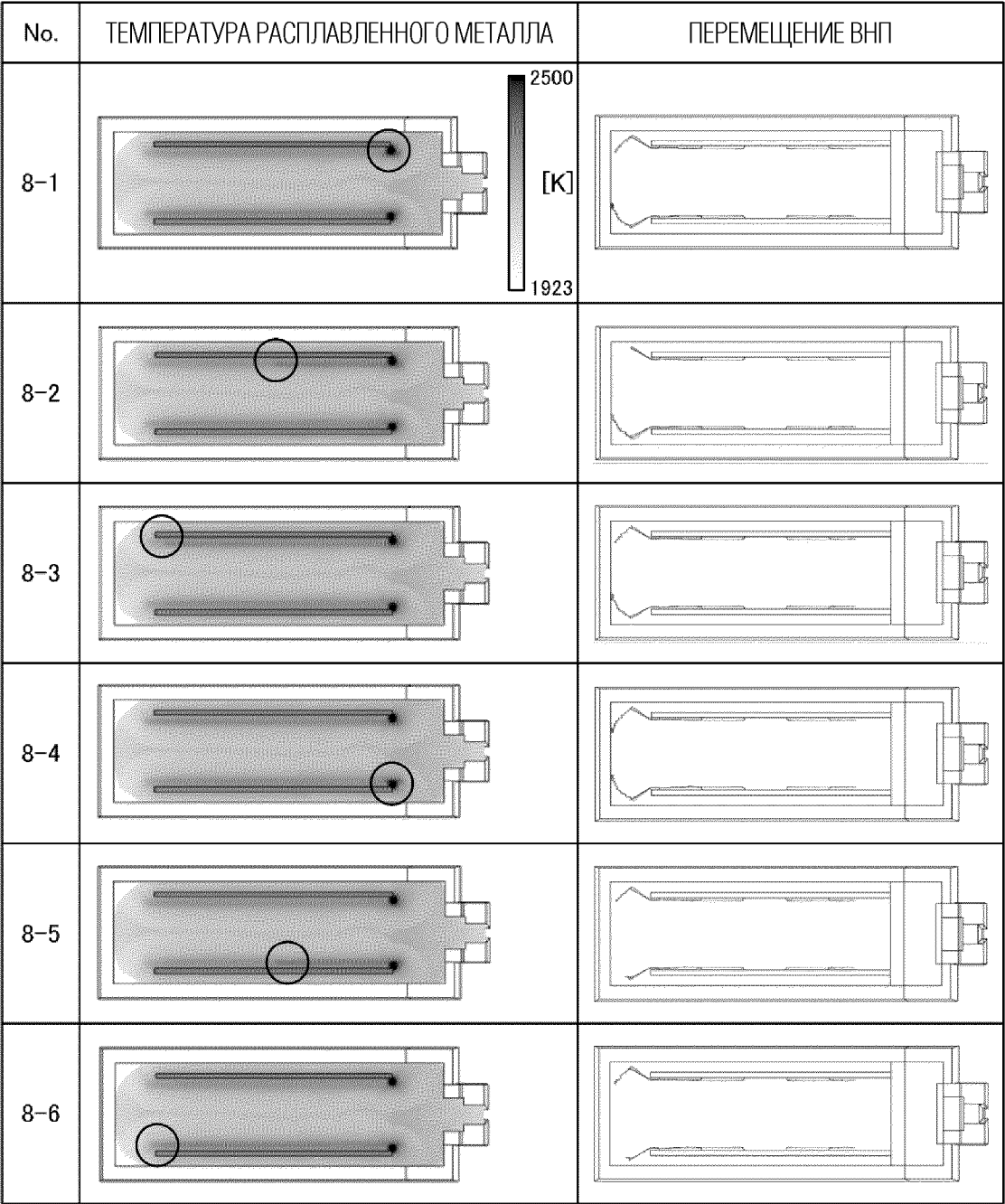
ФИГ. 25



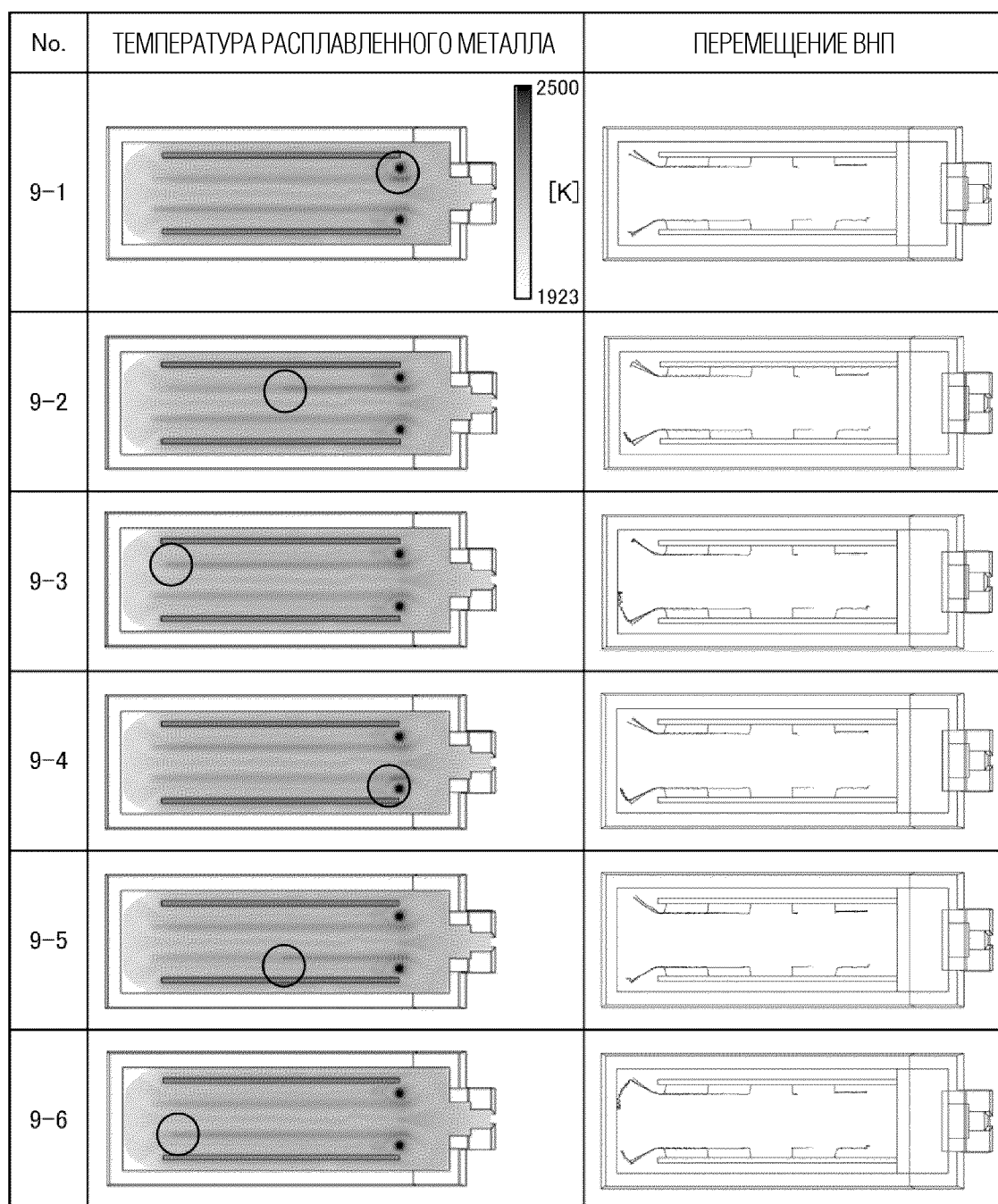
ФИГ. 26



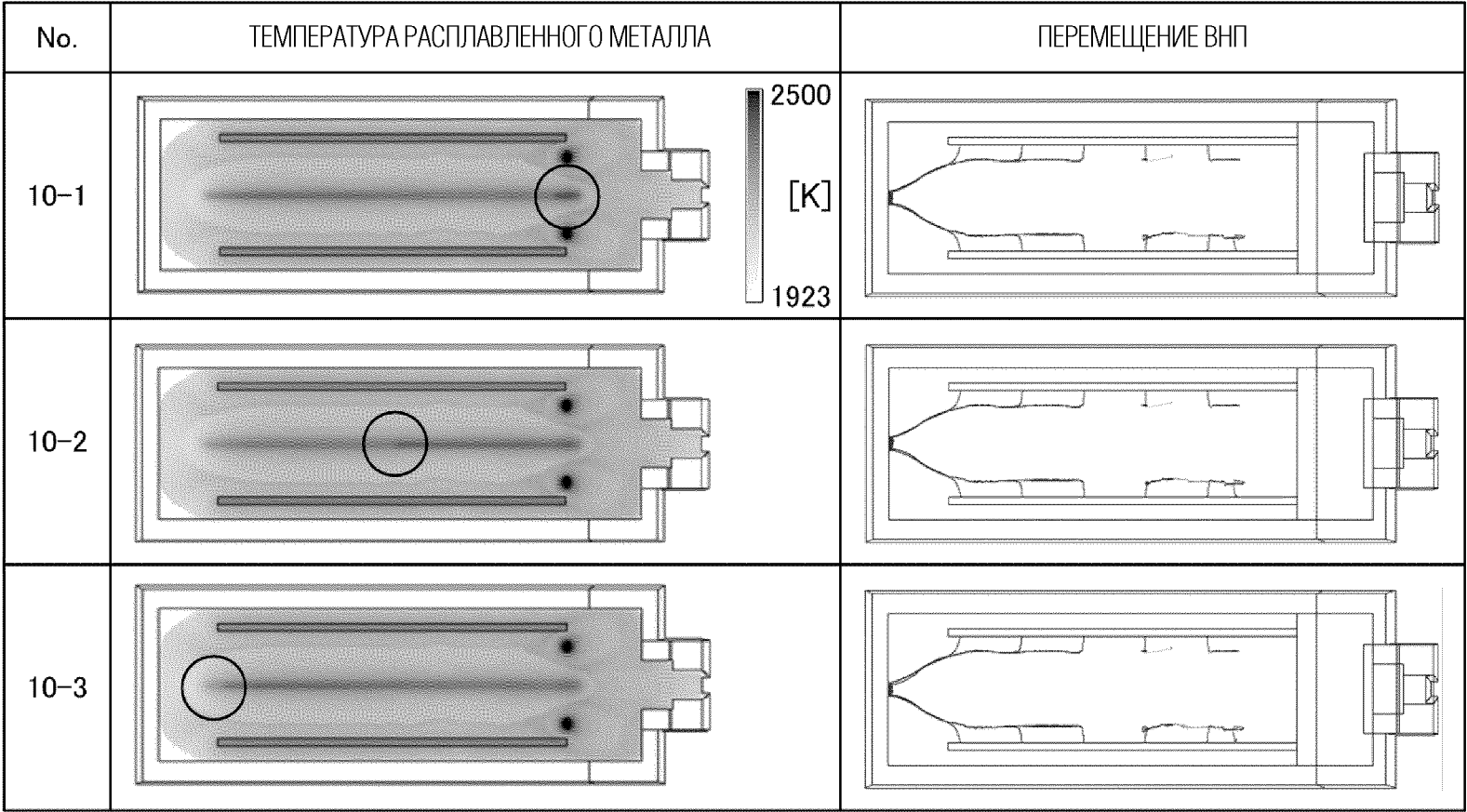
ФИГ. 27



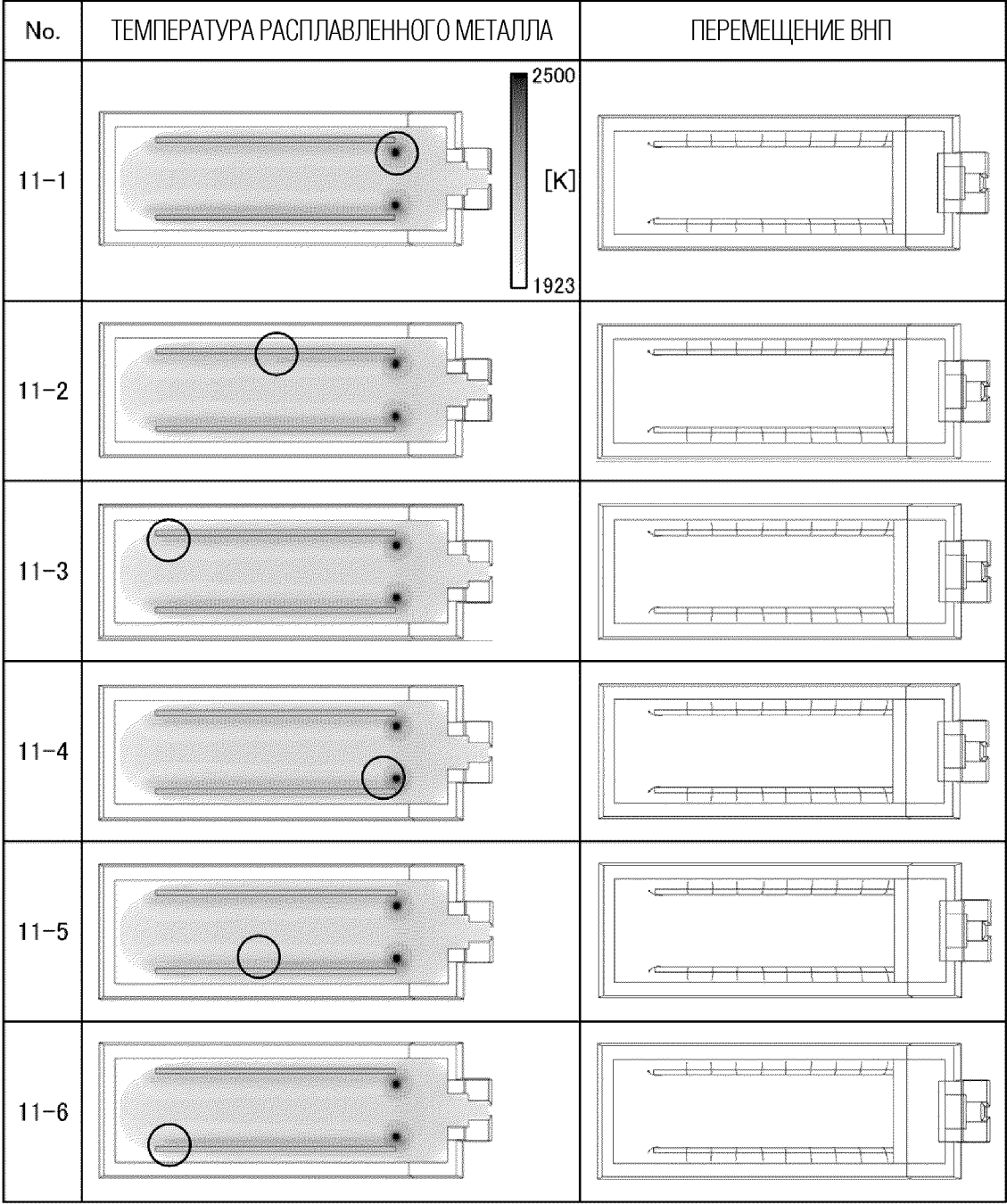
ФИГ. 28



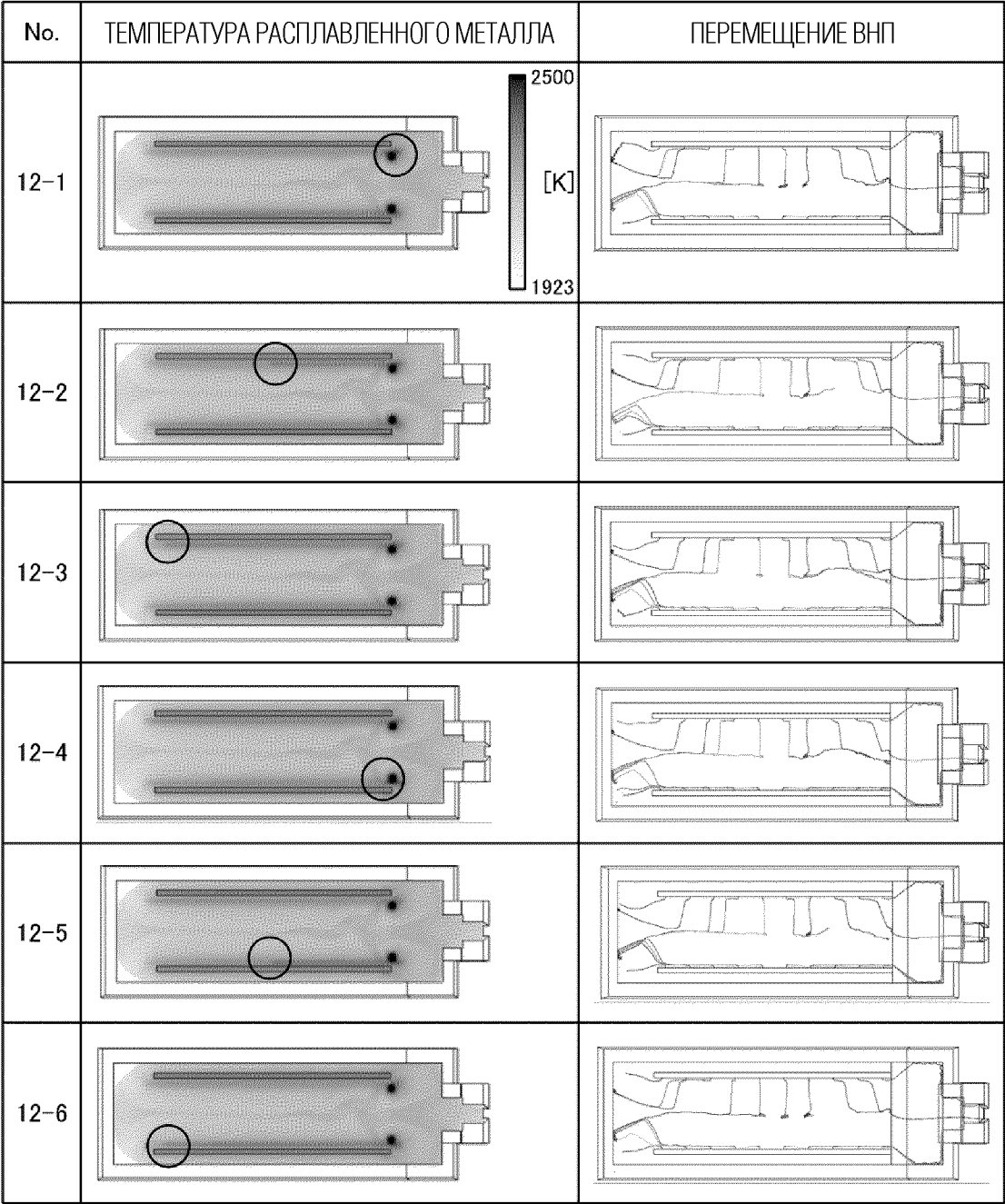
ФИГ. 29



ФИГ. 30



ФИГ. 31



ФИГ. 32

