

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **039285**(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2021.12.28

(21) Номер заявки
201992437

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

(32) **2017.04.13**

(33) **JP**

(43) **2020.02.29**

(86) **PCT/JP2018/015555**

(87) **WO 2018/190424 2018.10.18**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**НИППОН СТИЛ КОРПОРЕЙШН
(JP)**

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

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

(56) JP-A-2004276039
WO-A1-2008078402
JP-A-2004232066
JP-A-20131975

(57) Способ производства металлического слитка путем использования электронно-лучевой печи, включающей в себя электронную пушку, способную управлять положением облучения электронным лучом, и ванну, которая накапливает расплавленный металл из металлического сырья, в котором в последующей по течению области между предшествующей по течению областью, в которой металлическое сырье подается на поверхность расплавленного металла, и первой боковой стенкой линия облучения располагается так, чтобы блокировать часть сливного носка, и так, чтобы две концевые части линии облучения располагались в непосредственной близости от боковой стенки ванны. Первый электронный луч излучается на поверхность расплавленного металла вдоль линии облучения, и первый электронный луч излучается вдоль линии облучения. За счет этого температура поверхности (T2) расплавленного металла вдоль линии облучения делается более высокой, чем средняя температура (T0) всей поверхности расплавленного металла в ванне, и в наружном слое расплавленного металла формируется поток расплавленного металла от линии облучения в противоположную от первой боковой стенки сторону.

039285 B1

039285 B1

Область техники, к которой относится изобретение

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

Предпосылки создания изобретения

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 затвердевает в литейной форме для того, чтобы сформировать слиток титана. В соответствии с процессом электронно-лучевого плавления, поскольку положению 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.

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) 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, 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.

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 20б, чтобы тем самым расплавить сырье 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 20д. 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".

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.

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, ВВП (включения высокой плотности) и ВНП (включения низкой плотности). 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, поэтому плотность ВНП меньше плотности расплавленного титана.

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 ВВП меньше плотности расплавленного титана, основная часть ВВП всплывает на поверхность расплавленного металла внутри ванны. В то время как ВВП 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 ВВП, 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 ВВП, которые имеют высокое содержание азота, поскольку температура их растворения является высокой, вероятность того, что ВВП растворятся в расплавленном металле за время пребывания при нормальной работе, является чрезвычайно низкой.

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

Патентный документ 1: JP2004-232066A.

Непатентный документ

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

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 ВВП, 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 ВВП, мог бы предотвращать попадание примесей в слиток.

Задача настоящего изобретения, которое было создано 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

Для того чтобы решить вышеупомянутую проблему, в соответствии с определенной точкой зрения 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 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, в котором среди множества боковых стенок ванны, которая накапливает расплавленный металл из металлического сырья, первая боковая стенка представляет собой боковую стенку, снабженную частью сливного носка для вытекания расплавленного металла из ванны в литейную форму; линия облучения располагается в последующей по течению области между предшествующей по течению областью, в которой металлическое сырье подается на поверхность расплавленного металла, и первой боковой стенкой, так что линия облучения блокирует часть сливного носка, и две концевые части линии облучения располагаются в непосредственной близости от боковой стенки ванны; первый электронный луч излучается на поверхность расплавленного металла вдоль линии облучения; и излучение первого электронного луча вдоль линии облучения увеличивает температуру поверхности (T2) расплавленного металла на линии облучения выше средней температуры поверхности (T0) всей поверхности расплавленного металла в ванне, и образует в наружном слое расплавленного металла обратный поток расплавленного металла, направленный в противоположную первой боковой стенке сторону от линии облучения.

В соответствии с настоящим изобретением за счет излучения электронного луча вдоль линии облучения, как было описано выше, на поверхность расплавленного металла в ванне вытекание примесей из ванны в литейную форму предотвращается, и можно предотвратить попадание примесей в слиток.

Две концевые части линии облучения располагаются около первой боковой стенки.

Две концевые части линии облучения располагаются у внутренней поверхности боковой стенки или в области, отстоящей от внутренней поверхности боковой стенки на 5 мм или меньше.

Поток расплавленного металла может быть потоком от линии облучения, который доходит до боковой стенки, которая проходит, по существу, перпендикулярно к первой боковой стенке.

Линия облучения может иметь выпуклую форму, которая выступает от части сливного носка в обратную сторону.

Линия облучения может иметь V-образную форму или форму дуги окружности, имеющей диаметр, который равен или больше чем ширина выходного отверстия части сливного носка.

Линия облучения может иметь Т-образную форму, которая включает в себя первую прямолинейную часть вдоль первой боковой стенки между этими двумя концевыми частями, и вторую прямолинейную часть, которая проходит, по существу, перпендикулярно к первой прямолинейной части в сторону от первой боковой стенки.

Линия облучения может иметь форму прямой линии вдоль первой боковой стенки между двумя концевыми частями.

Поток расплавленного металла может быть обратным потоком от линии облучения, который направлен к центру от пары боковых стенок, которые обращены друг к другу и проходят, по существу, перпендикулярно к первой боковой стенке ванны.

Линия облучения может иметь выпуклую форму, которая выступает в направлении к части сливного носка.

Линия облучения может иметь U-образную форму, которая включает в себя первую прямолинейную часть вдоль первой боковой стенки между двумя концевыми частями, а также вторую прямолинейную часть и третью прямолинейную часть от двух концевых частей первой прямолинейной части, которые проходят, соответственно, вдоль боковых стенок, которые обращены друг к другу и проходят, по существу, перпендикулярно к первой боковой стенке ванны.

Второй электронный луч может излучаться на положение застоя потока расплавленного металла, который возникает благодаря излучению первого электронного луча вдоль линии облучения.

Множество первых электронных лучей может излучаться вдоль линии облучения с использованием множества электронных пушек так, чтобы пути первых электронных лучей пересекались или перекрывались на поверхности расплавленного металла.

Ванна может конфигурироваться так, чтобы она включала в себя одну только ванну очистки, в которой металлическое сырье плавится в части подачи сырья, капает из части подачи сырья в ванну, и металлическое сырье очищается в расплавленном металле внутри ванны очистки.

Ванна может быть многоступенчатой ванной, в которой множество разделенных ванн объединены и расположены последовательно, причем в каждой из разделенных ванн первый электронный луч излучается на поверхность расплавленного металла вдоль линии облучения, которая расположена таким образом, что линия облучения блокирует часть сливного носка в области ниже по течению, а две концевые части линии облучения располагаются в непосредственной близости от боковой стенки разделенной ванны.

Кроме того, металлическое сырье может содержать 50 мас.% или больше элементарного титана.

Полезные эффекты изобретения

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

Краткое описание чертежей

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

Фиг. 2 представляет собой схематическую диаграмму, иллюстрирующую электронно-лучевую печь,

которая включает в себя короткую ванну.

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 представляет собой вид сверху, иллюстрирующий один пример линии облучения и подающих линий в ванне согласно первому варианту осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 5 представляет собой частичное поперечное сечение вдоль линии I-I, показанной на фиг. 4.

Фиг. 6 представляет собой вид сверху, иллюстрирующий один пример потока расплавленного металла, который формируется, когда электронный луч излучается вдоль линии облучения согласно способу производства металлического слитка первого варианта осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 7 представляет собой вид сверху, иллюстрирующий один пример линии облучения согласно первому варианту осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 8 представляет собой пояснительный чертеж, иллюстрирующий другой пример линии облучения согласно первому варианту осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 9 представляет собой вид сверху, иллюстрирующий один пример потока расплавленного металла, который формируется, когда электронный луч излучается вдоль линии облучения согласно способу производства металлического слитка второго варианта осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 10 представляет собой вид сверху, иллюстрирующий форму линии облучения согласно второму варианту осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 11 представляет собой вид сверху, иллюстрирующий один пример потока расплавленного металла, который формируется, когда электронный луч излучается вдоль линии облучения согласно способу производства металлического слитка третьего варианта осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 12 представляет собой вид сверху, иллюстрирующий один пример линии облучения и подающих линий в ванне согласно четвертому варианту осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 13 представляет собой вид сверху, иллюстрирующий один пример потока расплавленного металла, который формируется, когда электронный луч излучается вдоль линии облучения согласно способу производства металлического слитка четвертого варианта осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 14 представляет собой вид сверху, иллюстрирующий один пример линии облучения согласно четвертому варианту осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 15 представляет собой вид сверху, иллюстрирующий один пример линии облучения согласно четвертому варианту осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 16 представляет собой вид сверху, иллюстрирующий V-образный путь облучения, который является модификацией линии облучения согласно четвертому варианту осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 17 представляет собой вид сверху, иллюстрирующий путь облучения в форме дуги окружности, который является модификацией линии облучения согласно четвертому варианту осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 18 представляет собой вид сверху, иллюстрирующий U-образный путь облучения, который является модификацией линии облучения согласно четвертому варианту осуществления настоящего изобретения.

Фиг. 19 представляет собой схематический вид сверху, иллюстрирующий один пример конфигурации многоступенчатой ванны.

Фиг. 20 представляет собой пояснительный чертеж, иллюстрирующий результат моделирования согласно примеру 1.

Фиг. 21 представляет собой диаграмму линий потока, иллюстрирующую течение расплавленного металла согласно примеру 1.

Фиг. 22 представляет собой пояснительный чертеж, иллюстрирующий результат моделирования согласно примеру 2.

Фиг. 23 представляет собой пояснительный чертеж, иллюстрирующий результат моделирования согласно примеру 3.

Фиг. 24 представляет собой пояснительный чертеж, иллюстрирующий результат моделирования согласно примеру 4.

Фиг. 25 объяснительный чертеж, иллюстрирующий линии облучения примера 5.

Фиг. 26 представляет собой пояснительный чертеж, иллюстрирующий результат моделирования согласно примеру 5.

Фиг. 27 представляет собой пояснительный чертеж, иллюстрирующий линию облучения примера 6.

Фиг. 28 представляет собой пояснительный чертеж, иллюстрирующий результат моделирования согласно примеру 6.

Фиг. 29 представляет собой пояснительный чертеж, иллюстрирующий линию облучения примера 7.

Фиг. 30 представляет собой пояснительный чертеж, иллюстрирующий результат моделирования согласно примеру 7.

Фиг. 31 представляет собой пояснительный чертеж, иллюстрирующий результат моделирования со-

гласно примеру 8.

Фиг. 32 представляет собой пояснительный чертеж, иллюстрирующий результат моделирования согласно примеру 9.

Фиг. 33 представляет собой пояснительный чертеж, иллюстрирующий результат моделирования согласно примеру 10.

Фиг. 34 представляет собой пояснительный чертеж, иллюстрирующий результат моделирования согласно примеру 11.

Фиг. 35 представляет собой пояснительный чертеж, иллюстрирующий результат моделирования согласно примеру 12.

Фиг. 36 представляет собой пояснительный чертеж, иллюстрирующий результат моделирования согласно примеру 13.

Фиг. 37 представляет собой пояснительный чертеж, иллюстрирующий результат моделирования согласно сравнительному примеру 1.

Фиг. 38 представляет собой пояснительный чертеж, иллюстрирующий линию облучения сравнительного примера 2.

Фиг. 39 представляет собой пояснительный чертеж, иллюстрирующий результат моделирования согласно сравнительному примеру 2.

Фиг. 40 объяснительный чертеж, иллюстрирующий линии облучения сравнительного примера 3.

Фиг. 41 представляет собой пояснительный чертеж, иллюстрирующий результат моделирования согласно сравнительному примеру 3.

Фиг. 42 представляет собой пояснительный чертеж, иллюстрирующий линию облучения сравнительного примера 4.

Фиг. 43 представляет собой пояснительный чертеж, иллюстрирующий результат моделирования согласно сравнительному примеру 4.

Фиг. 44 представляет собой пояснительный чертеж, иллюстрирующий результат проверки примера, относящегося к поведению потока расплавленного металла.

Фиг. 45 представляет собой пояснительный чертеж, иллюстрирующий результат проверки примера электронного луча для ускорения растворения ВМП.

Описание вариантов осуществления

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.

1. Первый вариант осуществления.

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

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.

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.

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, водоохлаждаемую 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.

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 сли-

ток титанового сплава). Литейная форма 40, например, представляет собой водоохлаждаемую 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.

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.

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).

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).

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 нагрева 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.

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.

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, 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 количе-

ство электронных пушек, устанавливаемых в ЭЛ-печи 1, может быть сокращено, стоимость оборудования может быть уменьшена, а существующие электронные пушки могут быть использованы эффективно.

1.2. Схема способа производства металлического слитка.

Далее со ссылкой на фиг. 3-6 будет описана схема способа производства металлического слитка с помощью процесса электронно-лучевого плавления согласно первому варианту осуществления настоящего изобретения. 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 частичное поперечное сечение вдоль линии I-I, показанной на фиг. 4. Фиг. 6 представляет собой вид сверху, иллюстрирующий один пример потока расплавленного металла, который формируется, когда электронный луч излучается вдоль линии облучения согласно способу производства металлического слитка настоящего варианта осуществления. Следует отметить, что, виды сверху фиг. 4 и 6 соответствуют ванне 30 электронно-лучевой печи 1, показанной на фиг. 3.

Цель способа производства металлического слитка в соответствии с настоящим вариантом осуществления заключается в том, чтобы предотвратить вытекание примесей, содержащихся в расплавленном металле (в расплавленном металле 5с), получаемом путем плавления твердого сырья 5, в литейную форму 40 из ванны 30 при производстве металлического слитка 50 технически чистого титана или титанового сплава и т.п. 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 титановом сырье, имеют плотность меньше, чем плотность расплавленного металлического титана (расплавленного титана), попадают в слиток 50 из титана или титанового сплава. Следует отметить, что хотя далее описывается случай, в котором используется электронно-лучевая печь 1 с короткой ванной, которая проиллюстрирована на фиг. 3, настоящее изобретение не ограничивается этим примером и может быть также применено к электронно-лучевой печи 1А с длинной ванной, которая проиллюстрирована на фиг. 1.

Для решения вышеупомянутой задачи 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 по линиям 26 подачи, которые находятся рядом с боковыми стенками 37А и 37В с длинных сторон ванны 30. Кроме того, электронный луч излучается вдоль линии 25 облучения, которая расположена так, чтобы блокировать часть 36 сливного носка относительно поверхности расплавленного металла 5с, который находится в ванне 30.

Линии 26 подачи 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.

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 линии 26 подачи не обязательно должны иметь строго прямолинейную форму вдоль внутренних поверхностей боковых стенок 37А, 37В и 37С ванны 30, и, например, они могут 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.

Линия 25 облучения (соответствует "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 на поверхности расплавленного металла 5с так, чтобы она блокировала часть 36 сливного носка. Две концевые части e1 и e2 линии 25 облучения располагаются около боковой стенки 37А, 37В, 37С или 37D (далее могут упоминаться как "боковая стенка (стенки) 37") ванны 30. 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.

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 боковые стенки 37А, 37В, 37С и 37D. Пара боковых стенок 37А и 37В, которые обращены друг к другу в направлении X, составляют пару длинных сторон ванны 30 и являются параллельными продольному направлению (направлению Y) ванны 30. Другими словами, среди боковых стенок 37 боковые стенки 37А и 37В проходят, по существу, перпендикулярно от боковой стенки 37D, в которой предусмотрена часть 36 сливного носка. 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. Здесь термин "по существу, перпендикулярно" происходит от того факта, что ванна, которая обычно используется, является прямоугольной, и одна боковая стенка и другая боковая стенка, смежная с этой боковой стенкой, пересекаются, по существу, перпендикулярно. Другими словами, термин "по существу, перпендикулярно" не означает строго перпендикулярное состояние, и допускается погрешность в пределах диапазона, в котором использование в качестве ванны обычно возможно. Допустимое угловое отклонение от перпендикулярного состояния может находиться, например, внутри диапазона в 5° .

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 37A, 37B и 37C, которые являются боковыми стенками, отличающимися от боковой стенки 37D. Следовательно, боковая стенка 37D соответствует "первой боковой стенке", снабженной частью сливного носка, а боковые стенки 37A, 37B и 37C соответствуют "боковым стенкам", в которых часть 36 сливного носка не предусматривается.

В примере, проиллюстрированном на фиг. 4, две прямолинейные линии 26 подачи расположены вдоль боковых стенок 37A и 37B на поверхности расплавленного металла 5с в ванне 30. В дополнение к этому линия 25 облучения располагается так, чтобы она блокировала часть 36 сливного носка ниже по потоку в продольном направлении (направлении Y) ванны 30 относительно линий 26 подачи. В настоящем изобретении та область в продольном направлении (направлении Y) ванны 30, которая включает в себя линии 26 подачи и не контактирует с частью 36 сливного носка, упоминается как "предшествующая область S2". Кроме того, та область в продольном направлении (направлении Y) ванны 30, которая расположена между предшествующей областью S2 и боковой стенкой 37D, в которой предусмотрена часть 36 сливного носка, упоминается как "последующая область S3". В следующем описании область внутри ванны 30 описывается таким образом, что она делится на предшествующую область S2 и последующую область S3 прямой линией, которая связывает конечные точки на двух линиях 26 подачи со стороны части 36 сливного носка.

Линия 25 облучения располагается в последующей области S3. Две концевые части e1 и e2 линии 25 облучения располагаются около боковой стенки 37A, 37B, 37C или 37D ванны 30. В примере, проиллюстрированном на фиг. 4, концевые части e1 и e2 располагаются около боковой стенки 37D. Используемая в настоящем документе фраза "концевые части e1 и e2 располагаются около боковой стенки 37" означает, что концевые части e1 и e2 располагаются на внутренней поверхности боковой стенки 37 или в области, в которой расстояние x от внутренней поверхности боковой стенки 37 составляет не более 5 мм. Первый электронный луч излучается на соответствующую область. Следует отметить, что отвержденный слой, называемый "гарнисажем" 7, представляющий собой затвердевший расплавленный металл 5с, формируется на внутренней поверхности стенок 37 ванны 30 (см. фиг. 5 и 6). Формирование гарнисажа 7 около боковых стенок 37 не представляет проблемы, и первый электронный луч может излучаться на гарнисаж 7.

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.

Как правило, в процессе электронно-лучевого плавления для предотвращения застывания расплавленного металла 5с в ванне 30 электронный луч равномерно излучается, например электронной пушкой 20C, 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 до 2273 К.

В настоящем варианте осуществления электронные лучи излучаются на твердое сырье 5 у вышеупомянутой части 10 подачи сырья электронными пушками 20A и 20B, 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. 5), 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 T_0 ($T_1 > T_0$). Температура подачи сырья T_1 находится, например, внутри диапазона 1923-2423 К и предпочтительно внутри диапазона 1973-2373 К.

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 расплавленный металл 5с вдоль линии 25 облучения. За счет такого концентрированного излучения электронного луча область высокой температуры, имеющая температуру поверхности T_2 , которая является более высокой, чем вышеупомянутая температура поверхности расплавленного металла T_0 , формируется в последующей по потоку области S3 и блокирует часть 36 сливного носка. Температура поверхности T_2 (далее упоминаемая как "температура линии облучения T_2 ") 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 до 2473 К и предпочтительно находится внутри диапазона 1973-2423 К.

Таким образом, в соответствии со способом производства металлического слитка настоящего варианта осуществления путем излучения электронного луча 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. 6, в наружном слое расплавленного металла 5с поток 61 расплавленного металла (соответствует "потоку расплавленного металла" настоящего изобретения) может быть принудительно сформирован от линии 25 облучения в противоположном направлении (т.е. в направлении Y), которое является направлением от боковой стенки 37D. 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.

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. 6, в центральной части в направлении ширины (направлении X) 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. 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, как проиллюстрировано на фиг. 5, перемещается вместе с потоком в наружном слое расплавленного металла 5с.

В соответствии со способом производства металлического слитка настоящего варианта осуществления электронный луч излучается на поверхность расплавленного металла 5с в ванне 30 вдоль линии 25 облучения, которая имеет две концевые части e1 и e2, расположенные у боковой стенки 37 ванны 30 так, чтобы блокировать часть 36 сливного носка. За счет этого конвекция Марангони создается с помощью температурного градиента на поверхности расплавленного металла 5с, и, как проиллюстрировано на фиг. 6, в наружном слое расплавленного металла 5с образуется обратный поток наружного слоя расплавленного металла 5с (поток 61 расплавленного металла) от линии 25 облучения. Поток 61 расплавленного металла предотвращает вытекание ВНП 8 в литейную форму 40, заставляя ВНП 8, которые плавают на поверхности расплавленного металла 5с в ванне 30, перемещаться в направлении от части 36 сливного носка.

Когда температурный градиент возникает на поверхности 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 главных металлах, представителем которых является титан, конвекция Марангони представляет собой поток от области высокой температуры к области низкой температуры.

Далее будет рассмотрен случай, в котором, когда сырье 5 капает вдоль линий 26 подачи в расплавленный металл 5с в ванне 30, как проиллюстрировано на фиг. 4, температура расплавленного металла (температура подачи сырья T_1), который капает вдоль линий 26 подачи, уже является более высокой, чем температура T_0 расплавленного металла, накопленного в ванне 30. В этом случае, как проиллюстрирова-

но на фиг. 5, область S1 около линий 26 подачи, на которую 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. 5 и 6, в наружном слое расплавленного металла 5с формируются поток 63 расплавленного металла от области S1 к боковой стенке 37В и поток 62 расплавленного металла от области S1 к центральной части в направлении ширины (направлении X) ванны 30.

Таким образом, как проиллюстрировано на фиг. 6, 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. Потоки 62 расплавленного металла, которые текут к центральной части ванны 30 от каждой из левой и правой линий 26 подачи, сталкиваются в центральной части в направлении ширины ванны 30, формируя тем самым поток расплавленного металла 60 (см. фиг. 6) 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 и текут к части 36 сливного носка. Следовательно, для того чтобы гарантировать, что примеси, такие как ВНП 8, не вытекают из части 36 сливного носка в литейную форму 40, предпочтительно, чтобы формировался поток наружного слоя расплавленного металла 5с, который отталкивает ВНП, увлекаемые потоком 60 расплавленного металла к части 36 сливного носка, в обратную сторону, и таким образом удерживает ВНП вдали от части 36 сливного носка.

Следовательно, в соответствии со способом производства металлического слитка настоящего варианта осуществления, как проиллюстрировано на фиг. 4 и 6, электронный луч излучается на поверхность расплавленного металла 5с вдоль V-образной линии 25 облучения, две концевые части e1 и e2 которой располагаются около боковой стенки 37D, и которая выступает назад, чтобы блокировать часть 36 сливного носка. За счет этого температура поверхности T2 расплавленного металла 5с в области около линии 25 облучения увеличивается, и образуется градиент температуры поверхности расплавленного металла 5с между областью около линии 25 облучения и областью 23 облучения для удержания тепла. В результате возникает конвекция Марангони, и, как проиллюстрировано на фиг. 6, в наружном слое расплавленного металла 5с возникает обратный поток 61 расплавленного металла от линии 25 облучения. Посредством этого потока 61 расплавленного металла осуществляется управление потоком примесей, таких как ВНП, и примеси, которые текли к части 36 сливного носка, отодвигаются обратно к положению, которое находится дальше от линии 25 облучения. За счет этого можно предотвратить вытекание примесей из части 36 сливного носка.

При этом, например, путем придания линии 25 облучения формы, которая выступает в сторону от сливного носка, такой как V-образная форма, как проиллюстрировано на фиг. 4 и 6, конвекция Марангони может быть создана таким образом, чтобы поток 61 расплавленного металла к части 36 сливного носка тек к боковым стенкам 37А и 37В ванны 30. Другими словами, на фиг. 6 поток 61 расплавленного металла является потоком, который направлен в обратную сторону (в направлении от части 36 сливного носка) в направлении оси Y, а также от части 36 сливного носка в направлении оси X. Таким образом, поток 61 расплавленного металла перемещает примеси, такие как ВНП, которые плавают на поверхности расплавленного металла 5с в областях около линий 26 подачи, в обратном направлении от линии 25 облучения, а также к боковым стенкам 37А и 37В ванны 30.

Некоторые из ВНП 8, перемещаемые к боковым стенкам 37А и 37В, прилипают к гарнисажу 7, образуемому на внутренних поверхностях боковых стенок 37 ванны 30, и поэтому больше не перемещаются в расплавленном металле 5с в ванне 30. Альтернативно ВНП 8 постепенно растворяются, циркулируя внутри ванны 30. В частности, поскольку расплавленный металл 5с в непосредственной близости от линии 25 облучения находится при высокой температуре, плавление ВНП 8 ускоряется. Таким образом, при излучении электронного луча вдоль линии 25 облучения примеси не только блокируются и задерживаются на линии 25 облучения, но примеси также улавливаются гарнисажем 7, образующимся на внутренних поверхностях боковых стенок 37А и 37В, или ускоряется растворение азотированного титана и т.п., который является главным компонентом ВНП 8, и, таким образом, вытекание примесей из части 36 сливного носка может быть предотвращено.

Таким образом, в соответствии со способом производства металлического слитка настоящего варианта осуществления электронный луч излучается вдоль линии 25 облучения, которая находится с последующей по потоку стороны от линий 26 подачи. За счет этого формируется обратный поток 61 расплавленного металла от области высокой температуры расплавленного металла 5с около линии 25 облучения, и в результате примеси, такие как ВНП, которые текли в сторону части 36 сливного носка, отодвигаются обратно от части 36 сливного носка. Следовательно, вытекание примесей из ванны 30 в литейную форму 40 может быть предотвращено. В результате попадание примесей в слиток может быть предотвращено.

1.3. Расположение линии облучения.

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

В способе производства металлического слитка в соответствии с настоящим вариантом осуществ-

ления, как проиллюстрировано на фиг. 4, электронный луч излучается вдоль линии 25 облучения, которая располагается в последующей по потоку области S3 между предшествующей по потоку областью S2, которая включает в себя линии 26 подачи, и боковой стенкой 37D. 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.

В способе производства металлического слитка в соответствии с настоящим вариантом осуществления, как проиллюстрировано на фиг. 6, линия 25 облучения имеет V-образную форму, которая имеет две концевые части e1 и e2, расположенные у боковой стенки 37D, и которая выступает назад, чтобы заблокировать часть 36 сливного носка. При излучении электронного луча на поверхность расплавленного металла 5с вдоль этой линии 25 облучения образуется обратный поток 61 расплавленного металла от линии 25 облучения. В результате поток 60 расплавленного металла, текущий к части 36 сливного носка, отодвигается обратно, и становится возможным предотвратить вытекание примесей, таких как ВНП, из ванны 30 в литейную форму 40.

При этом предпочтительно подходящим образом установить расположение линии 25 облучения так, чтобы поток 60 расплавленного металла из центра ванны 30 к части 36 сливного носка не проходил через линию 25 облучения и не тек к части 36 сливного носка. Следовательно, в соответствии со способом производства металлического слитка настоящего варианта осуществления линия 25 облучения используется для того, чтобы надежно разделить предшествующую область S2, в которой расположены линии 26 подачи, и часть 36 сливного носка. С этой целью две концевые части e1 и e2 линии 25 облучения располагаются около боковой стенки 37. Фраза "концевые части e1 и e2 располагаются около боковой стенки 37" означает, что концевые части e1 и e2 располагаются на внутренней поверхности боковой стенки 37 или в области, в которой расстояние x от внутренней поверхности боковой стенки 37 составляет не более 5 мм. Когда концевые части e1 и e2 находятся внутри вышеупомянутой области, примеси, такие как ВНП, не проходят через пространство между боковой стенкой 37 и концевыми частями e1 и e2 линии 25 облучения, и путь потока от предшествующей области S2 к части 36 сливного носка может надежно блокироваться. Следует отметить, что, как было упомянуто выше, формирование гарнисажа 7 около боковых стенок 37 не представляет проблемы, и первый электронный луч может излучаться на гарнисаж 7.

Кроме того, необходимо, чтобы ширина b линии 25 облучения в направлении X на фиг. 4 (далее упоминаемая как "ширина линии облучения") была, по меньшей мере, больше, чем ширина b_0 отверстия части 36 сливного носка. Если ширина b линии облучения меньше, чем ширина b_0 отверстия части 36 сливного носка, существует вероятность того, что поток наружного слоя расплавленного металла 5с от предшествующей области S2 к части 36 сливного носка возникнет в части, в которой электронный луч не излучается, и ВНП будут вытекать в литейную форму 40. Следует отметить, что ширина b линии облучения может быть меньше, чем ширина ванны 30, и время, требуемое для однократного сканирования линии 25 облучения, увеличивается при увеличении ширины b линии облучения. Когда время, требуемое для однократного сканирования линии 25 облучения, увеличивается, поток 61 расплавленного металла к боковым стенкам ванны 30, создаваемый излучением электронного луча, ослабевает, и вероятность вытекания ВНП к части 36 сливного носка увеличивается.

В дополнение к этому высота h линии облучения, которая является высотой, на которую линия 25 облучения выступает назад, определяется с учетом потока 61 расплавленного металла, создаваемого излучением соответствующего электронного луча, и времени сканирования. Здесь высота h линии облучения равна расстоянию от вершины линии 25 облучения до точки пересечения между прямой линией, которая соединяет две концевые части e1 и e2 линии 25 облучения, и прямой линией, проходящей в направлении Y через вершину линии 25 облучения. По мере увеличения высоты h линии облучения увеличивается степень, до которой поток 61 расплавленного металла, формируемый излучением электронного луча вдоль линии 25 облучения, имеющей V-образную форму, проиллюстрированную на фиг. 4, становится потоком к боковым стенкам 37А и 37В ванны 30, но с другой стороны увеличивается время, необходимое для однократного сканирования линии 25 облучения. Следовательно, предпочтительно устанавливать высоту h линии облучения так, чтобы время, требуемое для сканирования, стало возможно более коротким, сохраняя при этом направление потока 61 расплавленного металла к боковым стенкам 37А и 37В.

В способе производства металлического слитка в соответствии с настоящим вариантом осуществления положение вершины линии 25 облучения не ограничивается положением на прямой линии, которая проходит через центр ширины ванны 30 (далее упоминаемой также как "центральная линия"), как проиллюстрировано на фиг. 4. Однако желательно, чтобы вершина линии 25 облучения и центр ширины отверстия части 36 сливного носка находились на центральной линии ванны 30, как проиллюстрировано на фиг. 4. За счет расположения вершины линии 25 облучения на центральной линии, как проиллюстрировано на фиг. 6, поток 61 расплавленного металла может быть сделан симметричным относительно центральной линии. Путем излучения электронного луча таким образом поток наружного слоя расплавлен-

ного металла 5с может быть ориентирован к боковым стенкам 37А и 37В, которые находятся на небольшом расстоянии от линии 25 облучения, и вероятность прилипания примесей, таких как ВНП, к гарнизажу 7 может быть увеличена.

До тех пор пока линия 25 облучения электронного луча способа производства металлического слитка в соответствии с настоящим вариантом осуществления имеет выпуклую форму, которая выступает назад от части 36 сливного носка, линия 25 облучения может иметь форму, отличающуюся от V-образной формы, показанной на фиг. 4. Например, линия 25 облучения может иметь криволинейную форму, такую как парабола. Альтернативно, линия 25 облучения может иметь, например, по существу, форму полукруглой дуги, как проиллюстрировано на фиг. 7. В этом случае линия 25 облучения в форме дуги имеет диаметр, который равен или больше, чем ширина b_0 отверстия части 36 сливного носка. В частности, как проиллюстрировано на фиг. 7, линия 25 облучения в форме дуги задается так, чтобы ее центр находился на прямой линии, проходящей через центр ширины отверстия части 36 сливного носка, и чтобы она была частью окружности, имеющей диаметр, равный или больше, чем ширина b_0 отверстия части 36 сливного носка.

В этом случае также аналогично фиг. 4, в том случае, когда температура сырья 5, которое капает на линии 26 подачи, является более высокой, чем температура расплавленного металла 5с, который уже накоплен в ванне 30, образуются потоки расплавленного металла, которые соответствуют потокам 60, 61 и 62 расплавленного металла, показанным на фиг. 6. Другими словами, потоки расплавленного металла из сырья 5, который капает на соответствующие линии 26 подачи, текут к центру в направлении ширины (направлении X) ванны 30, и эти потоки 62 расплавленного металла сталкиваются друг с другом в центре в направлении ширины (направлении X) ванны 30 и тем самым формируют поток 60 расплавленного металла, который течет к части 36 сливного носка.

Кроме того, линия 25 облучения задается так, чтобы две концевые части e1 и e2 располагались около боковой стенки 37D, и линия 25 облучения блокировала часть 36 сливного носка. Электронный луч излучается на поверхность расплавленного металла 5с вдоль линии 25 облучения, которая задана таким образом. За счет этого возникает конвекция Марангони, и поток 60 расплавленного металла, который течет к части 36 сливного носка, направляется обратно к боковым стенкам 37А и 37В. В результате ВНП прилипают к гарнизажу 7, образующемуся на боковых стенках 37 ванны 30, и таким образом можно предотвратить перемещение ВНП через расплавленный металл 5с. Альтернативно ВНП могут также растворяться при циркуляции через расплавленный металл 5с, который накоплен в ванне 30.

Следует отметить, что, фактическое положение облучения, в котором электронный луч излучается на линию 25 облучения, не обязательно должно находиться строго на линии 25 облучения. Достаточно того, чтобы фактическое положение облучения, в котором излучается электронный луч, находилось приблизительно на линии 25 облучения, которая задается как мишень, и никаких проблем не возникает до тех пор, пока фактический путь электронного луча находится внутри допустимого диапазона отклонения от линии 25 облучения, которая задана в качестве мишени. Кроме того, две концевые части e1 и e2 линии 25 облучения располагаются около внутренней поверхности боковой стенки 37 ванны 30. Фраза "концевые части e1 и e2 располагаются около боковой стенки 37" означает, что концевые части e1 и e2 располагаются на внутренней поверхности боковой стенки 37 или в области, в которой расстояние x от внутренней поверхности боковой стенки 37 составляет не более 5 мм. Концевые части e1 и e2 линии 25 облучения устанавливаются в этой области, и электронный луч излучается вдоль линии 25 облучения, и формирование гарнисажа 7 на внутренней поверхности боковых стенок 37 ванны 30 не составляет проблемы, и электронный луч может излучаться на гарнизаж 7.

Кроме того, в способе производства металлического слитка в соответствии с настоящим вариантом осуществления, если расположение линии 25 облучения электронным лучом таково, что внутри последующей области S3 "две концевые части e1 и e2 находятся около боковой стенки 37 (любой из 37А, 37В, 37С и 37D)" и "линия 25 облучения блокирует часть 36 сливного носка (таким образом, что предшествующая область S2 и часть 36 сливного носка надежно разделены линией 25 облучения)", линия 25 облучения может иметь любую произвольную форму. Формы, проиллюстрированные на фиг. 4 и 7, являются всего лишь иллюстративными примерами, и форма, в которой линия 25 облучения отделена от боковой стенки 37D больше, чем в вышеупомянутых примерах, также является приемлемой.

Например, как проиллюстрировано на фиг. 8, в том случае, когда предшествующая область S2, содержащая линии 26 подачи, располагается выше по течению в продольном направлении ванны 30, последующая область S3 между предшествующей областью S2 и боковой стенкой 37D является более широкой, чем в случае, проиллюстрированном на фиг. 4. Однако поскольку возможно расположить линию 25 облучения в любом положении, при условии, что она находится в последующей области S3, как проиллюстрировано на фиг. 8, также возможно расположить линию 25 облучения в центральной части в продольном направлении ванны 30. При этом две концевые части e1 и e2 линии 25 облучения могут располагаться у боковых стенок 37А и 37В. С точки зрения более надежного предотвращения вытекания ВНП 8 в литейную форму 40 из ванны 30 предпочтительно располагать две концевые части e1 и e2 линии 25 облучения у боковой стенки 37D, в которой предусмотрена часть 36 сливного носка, как проиллюстрировано на фиг. 4 и т.п. За счет этого расстояние сканирования электронного луча сокращается, и

время, требуемое для однократного сканирования линии 25 облучения, может быть уменьшено. В результате температура расплавленного металла 5с на линии 25 облучения может быть эффективно повышена, и обратный поток 61 расплавленного металла от линии 25 облучения может быть сформирован раньше в наружном слое расплавленного металла 5с.

1.4. 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.

Для того чтобы отодвинуть обратно поток 62 расплавленного металла от линий 26 подачи (см. фиг. 6) в направлении от выхода из ванны 30 посредством потока 61 расплавленного металла от линии 25 облучения (см. фиг. 6), 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.

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 общий поток расплавленного металла 5с, 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].

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 60 расплавленного металла посредством потока 61 расплавленного металла, и возможность того, что поток 60 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].

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.

Выражение 1

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

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

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 q₀ представляет собой тепловой поток в пятне электронного луча. Когда количество тепла, передаваемого электронной пушкой, равно "Q", как проиллюстрировано в вышеприведенной формуле (2), q₀ задается так, чтобы полная сумма теплового потока q по всей поверхности расплавленного металла внутри ванны стала равна Q.

Что касается этих параметров, их значения могут быть определены, например, посредством моделирования теплового потока и т.п. и установлены так, чтобы перенаправить поток 60 расплавленного металла от центральной части ванны 30 к части 36 сливного носка вверх по течению относительно линии 25 облучения за счет конвекции Марангони, которая создается излучением электронного луча вдоль линии 25 облучения. В частности, условия излучения электронного луча для линейного облучения могут быть установлены так, чтобы температура (температура линии облучения T2) области высокой температуры около линии 25 облучения стала более высокой, чем температура (температура поверхности расплавленного металла T0) области 23 облучения для удержания тепла, как проиллюстрировано на фиг. 6.

Следует отметить, что вышеупомянутые условия излучения, такие как количество передаваемого тепла, скорость сканирования и распределение теплового потока электронного луча для линейного облу-

чения 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).

1.5. Резюме.

Выше был описан способ производства металлического слитка согласно первому варианту осуществления настоящего изобретения. В соответствии с настоящим вариантом осуществления электронный луч излучается на поверхность расплавленного металла 5с в ванне 30 вдоль линии 25 облучения, две концевые части е1 и е2 которой располагаются у боковой стенки 37 ванны 30, и которая располагается так, чтобы блокировать часть 36 сливного носка. За счет этого конвекция Марангони создается с помощью температурного градиента на поверхности расплавленного металла 5с, и, как проиллюстрировано на фиг. 6, в наружном слое расплавленного металла 5с формируется обратный поток наружного слоя расплавленного металла 5с (поток 61 расплавленного металла) от линии 25 облучения. Соответственно, посредством потока 61 расплавленного металла поток 60 расплавленного металла, проходящий через центральную часть ванны 30 к части 36 сливного носка, может быть отодвинут обратно выше по течению относительно линии 25 облучения, и вытекание из ванны 30 в литейную форму 40 примесей, таких как ВНП 8, плавающие в расплавленном металле 5с, может быть предотвращено. Расплавленный металл 5с, который отодвигается обратно внутри ванны 30, плавится при циркуляции через расплавленный металл 5с в ванне 30 или улавливается гарнисажем 7.

Кроме того, линия 25 облучения формируется так, чтобы она имела выпуклую форму, выступающую назад, как проиллюстрировано на фиг. 4 и 7. За счет этого поток 60 расплавленного металла к части 36 сливного носка может быть направлен к боковым стенкам 37А и 37В ванны 30 от линии 25 облучения потоком 61 расплавленного металла. В результате ВНП 8, плавающие в наружном слое расплавленного металла 5с, могут прилипнуть к гарнисажу 7 на внутренней поверхности боковых стенок ванны 30. Кроме того, также возможно растворить ВНП 8 в то время, как они циркулируют через расплавленный металл 5с в ванне 30. За счет этого возникновение ситуации, в которой примеси вытекают из ванны 30 в литейную форму 40 и попадают в слиток 50, может быть предотвращено.

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.

В обычных способах производства титанового сплава принято удалять примеси, выдерживая расплавленный металл в течение длительного времени в ванне, чтобы тем самым растворить ВНП в расплавленном металле, одновременно заставляя ВВП прилипнуть 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 со способом производства металлического слитка настоящего варианта 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, за счет использования короткой ванны в ЭЛ-печи 1 затраты на нагревание, такие как расход электричества, могут быть уменьшены, и соответственно могут быть уменьшены производственные затраты на ЭЛ-печь 1. В дополнение к этому при использовании короткой ванны вместо длинной ванны количество гарнисажа 7, образующегося в ванне, может быть уменьшено. Следовательно, выход может быть улучшен.

2. Второй вариант осуществления.

Далее будет описан способ производства металлического слитка с помощью процесса электронно-лучевого плавления согласно второму варианту осуществления настоящего изобретения.

В способе производства металлического слитка с помощью процесса электронно-лучевого плавления в соответствии с настоящим вариантом осуществления форма линии 25 облучения электронным лучом отличается от первого варианта осуществления. Ниже описываются главным образом отличия способа производства металлического слитка от первого варианта осуществления, и подробное описание настроек и обработки, аналогичных способу получения металлического слитка в соответствии с первым вариантом осуществления, опускается. Следует отметить, что хотя в следующем описании также описывается случай, в котором используется электронно-лучевая печь 1 с короткой ванной, проиллюстрированная на фиг. 3, настоящее изобретение не ограничивается этим примером, и также может быть применено к электронно-лучевой печи с длинной ванной, проиллюстрированной на фиг. 1.

2.1. Схема способа производства металлического слитка.

В способе производства металлического слитка с помощью процесса электронно-лучевого плавления в соответствии с настоящим вариантом осуществления линия 25 облучения имеет Т-образную форму, которая включает в себя первую прямолинейную часть L1 вдоль боковой стенки 37D между двумя концевыми частями e1 и e2, и вторую прямолинейную часть L2, которая проходит назад, по существу, перпендикулярно к первой прямолинейной части L1. Часть 36 сливного носка блокируется первой прямолинейной частью L1. За счет излучения электронного луча вдоль линии 25 облучения, имеющей эту форму, предотвращается вытекание ВНП, плавающих в наружном слое расплавленного металла 5с, из ванны 30 в литейную форму 40.

Настоящий вариант осуществления будет теперь описан более подробно на основе фиг. 9 и 10. Фиг. 9 представляет собой вид сверху, иллюстрирующий один пример линии 25 облучения в способе производства металлического слитка в соответствии с настоящим вариантом осуществления, а также иллюстрирует потоки расплавленного металла на поверхности расплавленного металла 5с в ванне 30. Фиг. 10 представляет собой вид сверху, иллюстрирующий один пример линии 25 облучения в способе производства металлического слитка в соответствии с настоящим вариантом осуществления. Следует отметить, что вид сверху на фиг. 9 соответствует ванне 30 электронно-лучевой печи 1, показанной на фиг. 3. Кроме того, на фиг. 10 описание гарнисажа, который образуется на внутренней поверхности боковых стенок 37 ванны 30, будет опущено.

В настоящем варианте осуществления, как проиллюстрировано на фиг. 9 и 10, линия 25 облучения имеет Т-образную форму, и электронный луч излучается вдоль линии 25 облучения. В этом случае, аналогично случаю, в котором электронный луч излучается вдоль линии 25 облучения, проиллюстрированной в первом варианте осуществления, температурный градиент также образуется между областью 23 облучения для удержания тепла и областью около линии 25 облучения, и возникает конвекция Марангони. В результате возникновения конвекции Марангони образуется обратный поток 61 расплавленного металла от линии 25 облучения, и ВНП отодвигаются назад.

Фиг. 9 иллюстрирует поток расплавленного металла 5с в том случае, когда температура сырья 5, которое капает в расплавленный металл 5с вдоль линий 26 подачи, является более высокой, чем температура расплавленного металла 5с, который уже накоплен в ванне 30. Конвекция Марангони представляет собой поток от области высокой температуры к области низкой температуры. Следовательно, сырье 5, которое капает в расплавленный металл 5с вдоль линий 26 подачи, увлекается потоком 62 расплавленного металла и движется к центральной части в направлении ширины (направлении X) ванны 30, а также увлекается потоком 63 расплавленного металла к боковым стенкам 37А и 37В ванны 30. Потоки 62 расплавленного металла, которые текут к центральной части ванны 30 от каждой из левой и правой линий 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 и текут к части 36 сливного носка. Путем формирования потока наружного слоя расплавленного металла 5с, который отталкивает ВНП, которые движутся с потоком 60 расплавленного металла к части 36 сливного носка, в обратную сторону, и таким образом удерживает ВНП вдали от части 36 сливного носка, можно предотвратить вытекание примесей, таких как ВНП 8, из части 36 сливного носка в литейную форму 40.

В способе производства металлического слитка в соответствии с настоящим вариантом осуществления, как проиллюстрировано на фиг. 9, когда поток 60 расплавленного металла к части 36 сливного носка приближается к части 36 сливного носка, поток 60 расплавленного металла достигает области, в которой электронный луч излучается вдоль Т-образной линии 25 облучения на поверхность расплавленного металла 5с. Линия 25 облучения состоит из первой прямолинейной части L1, которая, по существу, параллельна боковой стенке 37D и которая блокирует часть 36 сливного носка, и второй прямолинейной части L2, которая проходит назад приблизительно из центра первой прямолинейной части L1. Две концевые части e1 и e2 первой прямолинейной части L1 располагаются около боковой стенки 37D.

Температура расплавленного металла T2 в области около линии 25 облучения, вдоль которой излучается электронный луч, увеличивается по сравнению с температурой T0 области 23 облучения для удержания тепла. Следовательно, возникает конвекция Марангони, и образуется обратный поток 61 расплавленного металла от линии 25 облучения. Из-за возникновения конвекции Марангони, как проиллюстрировано на фиг. 9, поток 60 расплавленного металла к части 36 сливного носка отталкивается обратно потоком 61 расплавленного металла, который возникает у линии 25 облучения, и становится потоком, который течет к боковым стенкам 37А и 37В ванны 30 и достигает их. За счет этого после того, как ВНП, увлекаемые потоком 60 расплавленного металла к части 36 сливного носка, станут перемещаться к боковым стенкам 37А и 37В ванны 30, ВНП прилипают к гарнисажу 7, образующемуся на боковых стенках ванны 30, и прекращают двигаться. Альтернативно, ВНП, увлекаемые потоком на поверхности расплавленного металла 5с, rastvoryayutsya во время циркуляции через ванну 30.

Таким образом, согласно способу производства металлического слитка настоящего варианта осуществления электронный луч излучается вдоль Т-образной линии 25 облучения. За счет этого образуется

обратный поток расплавленного металла от линии 25 облучения. В результате вытекание ВНП в расплавленном металле 5с из ванны 30 в литейную форму 40 может быть предотвращено. Следовательно, возникновение ситуации, в которой примеси вытекают из ванны 30 в литейную форму 40 и попадают в слиток 50, может быть предотвращено.

2.2. Расположение линии облучения.

Когда линия 25 облучения имеет Т-образную форму, электронные лучи могут излучаться вдоль линии 25 облучения с использованием, например, трех электронных пушек. Другими словами, как проиллюстрировано на фиг. 10, электронные лучи могут излучаться вдоль линий облучения d1 и d3, составляющих первую прямолинейную часть L1, и линии облучения d2, составляющей вторую прямолинейную часть L2 соответственно.

Что касается первой прямолинейной части L1 вдоль боковой стенки 37D, которая, по существу, параллельна направлению ширины (направлению X) ванны 30, электронные лучи излучаются на нее с использованием двух электронных пушек. Линия облучения d1 и линия облучения d3 имеют общий конец и расположены, по существу, коллинеарно. Точность управления положением облучения электронным лучом уменьшается за счет испарения летучего ценного металла, такого как алюминий, особенно в случае плавления металлического сплава. Соответственно для того чтобы надежно блокировать часть 36 сливного носка излучением электронных лучей вдоль первой прямолинейной части L1, это предпочтительно, чтобы один конец линии облучения d1 и один конец линии облучения d3 накладывались друг на друга. В частности, при перекрытии линии облучения d1 и линии облучения d3 на 5 мм или больше, даже в том случае, когда точность управления положениями электронных лучей относительно линии 25 облучения уменьшается, можно предотвратить образование зазора между линией облучения d1 и линией облучения d3.

Длина b_2 линии облучения первой прямолинейной части L1 (т.е. сумма длин линий облучения d1 и d3 на фиг. 10) определяется с учетом высоты h_2 второй прямолинейной части L2 линии облучения, которая будет описана позже, или количества тепла, передаваемого электронными лучами, испускаемыми из электронных пушек. Длина b_2 линии облучения устанавливается так, чтобы она была, по меньшей мере, больше, чем ширина отверстия части 36 сливного носка. Если длина b_2 линии облучения будет меньше ширины отверстия части 36 сливного носка, существует вероятность того, что образуется поток расплавленного металла из предшествующей области S2 ванны 30 к части 36 сливного носка в той части, которая не облучается электронным лучом, и ВНП будут вытекать из ванны 30 в литейную форму 40. Следовательно, желательно делать длину b_2 линии облучения, по меньшей мере, больше, чем ширина отверстия части 36 сливного носка.

Кроме того, длина b_2 линии облучения может быть меньше, чем ширина ванны 30, и время, требуемое для однократного сканирования первой прямолинейной части L1, проиллюстрированной на фиг. 9, увеличивается при увеличении длины b_2 линии облучения. Если время, требуемое для однократного сканирования линии 25 облучения, увеличивается, поток 61 расплавленного металла к боковым стенкам ванны 30 создаваемый электронным лучом, станет слабее, и вероятность прохождения ВНП через часть 36 сливного носка увеличится. Также желательно, чтобы соответствующие длины линий облучения d1 и d3, которые составляют первую прямолинейную часть L1, были приблизительно одинаковыми. За счет этого расстояние сканирования каждого электронного луча может быть равномерно уменьшено, и температура расплавленного металла 5с в первой прямолинейной части L1 может быть равномерно увеличена. Следует отметить, что количество электронных пушек, которые излучают электронный луч на первую прямолинейную часть L1, не ограничивается используемым в этом примере, и может быть равно 1 или может быть равно 3 или больше.

Кроме того, что касается второй прямолинейной части L2, электронный луч может излучаться на нее, например, одной электронной пушкой. Хотя количество электронных пушек, которые излучают электронный луч вдоль второй прямолинейной части L2, может быть больше единицы, обычно, поскольку расстояние сканирования в этом случае является более коротким, чем для первой прямолинейной части L1, можно адекватно излучать электронный луч вдоль второй прямолинейной части L2 с использованием одной электронной пушки. Высота h_2 линии облучения второй прямолинейной части L2 также определяется с учетом длины b_2 линии облучения первой прямолинейной части L1 или количества тепла, передаваемого электронным лучом, испускаемым электронной пушкой. Чем больше высота h_2 линии облучения, тем больше время, требуемое для однократного сканирования линии 25 облучения, и тем меньше степень увеличения температуры расплавленного металла 5с во второй прямолинейной части L2. Следовательно, высота h_2 линии облучения задается так, чтобы время, требуемое для сканирования, могло быть сделано максимально коротким, а температура расплавленного металла 5с могла быть эффективно увеличена. Следует отметить, что желательно, чтобы высота h_2 линии облучения находилась внутри диапазона значений, эквивалентных приблизительно $2/5$ - $3/5$ длины b_2 линии облучения.

В случае излучения электронного луча на поверхность расплавленного металла 5с в ванне 30 вдоль вышеупомянутой Т-образной линии 25 облучения желательно устанавливать центр ширины отверстия части 36 сливного носка, среднюю точку первой прямолинейной части L1 и вторую прямолинейную часть L2 на центральной линии ванны 30, как проиллюстрировано на фиг. 10. За счет этого поток рас-

плавленного металла 5с в ванне 30 может быть сделан приблизительно симметричным относительно центральной линии. Кроме того, поток расплавленного металла на линии 25 облучения электронным лучом может быть направлен к боковым стенкам 37А и 37В, которые находятся вблизи от линии 25 облучения. За счет этого вероятность прилипания примесей, таких как ВНП, к гарнисажу 7 может быть увеличена.

Следует отметить, что, фактическое положение облучения, в котором электронный луч излучается на линию 25 облучения, не обязательно должно находиться строго на линии 25 облучения. Достаточно того, чтобы фактическое положение облучения, в котором излучается электронный луч, находилось приблизительно на линии 25 облучения, которая задается как мишень, и никаких проблем не возникает до тех пор, пока фактический путь электронного луча находится внутри допустимого диапазона отклонения от линии 25 облучения, которая задана в качестве мишени. Кроме того, две концевые части е1 и е2 первой прямолинейной части L1 пути электронного луча в настоящем варианте осуществления располагаются около внутренней поверхности боковой стенки ванны 30. Фраза "концевые части е1 и е2 располагаются около боковой стенки 37" означает, что концевые части е1 и е2 располагаются на внутренней поверхности боковой стенки 37 или в области, в которой расстояние x от внутренней поверхности боковой стенки 37 составляет не более 5 мм. Концевые части е1 и е2 линии 25 облучения устанавливаются в этой области, и электронный луч излучается вдоль линии 25 облучения, и формирование гарнисажа 7 на внутренней поверхности боковых стенок 37 ванны 30 не составляет проблемы, и электронный луч может излучаться на гарнисаж 7.

Кроме того, что касается электронных лучей, излучаемых из соответствующих электронных пушек, аналогично первому варианту осуществления условия излучения, таких как количество передаваемого тепла, скорость сканирования и распределение теплового потока электронного луча, 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.

В этом случае линия 25 облучения в способе производства металлического слитка в соответствии с настоящим вариантом осуществления состоит из первой прямолинейной части L1 и второй прямолинейной части L2. Поток 61 расплавленного металла, который формируется при излучении электронных лучей вдоль Т-образной линии 25 облучения, образуется тогда, когда потоки, сформированные первой прямолинейной частью L1 и второй прямолинейной частью L2, накладываются друг на друга. Следовательно, способ для излучения электронных лучей вдоль Т-образной линии 25 облучения определяется на основе по меньшей мере одного из длины b_2 линии облучения и высоты h_2 линии облучения, а также количества тепла, передаваемого электронной пушкой. Вектор поверхностного потока расплавленного металла 5с к боковым стенкам 37 ванны 30 от линии 25 облучения может быть определен посредством задания вышеупомянутых значений.

В частности, в том случае, когда количество тепла, передаваемого электронным лучом, излучаемым вдоль первой прямолинейной части L1, больше, чем количество тепла, передаваемого электронным лучом, излучаемым вдоль второй прямолинейной части L2, поток к боковой стенке 37С, которая обращена к части 36 сливного носка ванны 30, будет более сильным. С другой стороны, в том случае, когда количество тепла, передаваемого электронным лучом, излучаемым вдоль второй прямолинейной части L2, больше, чем количество тепла, передаваемого электронным лучом, излучаемым вдоль первой прямолинейной части L1, потоки к боковым стенкам 37А и 37В ванны 30 будут более сильными. Таким образом, ориентация потока расплавленного металла от положения облучения электронным лучом к боковым стенкам 37 ванны 30 может определяться соотношением между силой излучения электронного луча (лучей) на первую прямолинейную часть L1 и силой излучения электронного луча на вторую прямолинейную часть L2.

Например, если количество тепла, передаваемого используемыми электронными пушками, является приблизительно одинаковым, способ облучения линии 25 облучения может быть определен на основе только соотношения между длиной b_2 линии облучения и высотой h_2 линии облучения. В этом случае, например, расстояния сканирования соответствующих электронных пушек (т.е. длины линий облучения $d1$, $d2$ и $d3$) могут быть сделаны приблизительно одинаковыми, и соответствующие параметры могут быть установлены так, чтобы скорости сканирования и распределения теплового потока также стали приблизительно одинаковыми. Другими словами, длина b_2 линии облучения делается равной удвоенной высоте h_2 линии облучения.

Кроме того, в том случае, когда количества тепла, передаваемого используемыми электронными пушками, отличаются друг от друга, достаточно определить способ облучения линии 25 облучения с учетом длины b_2 линии облучения и высоты h_2 линии облучения, а также количества тепла, передаваемого соответствующими электронными пушками, так, чтобы поток 60 расплавленного металла к части 36 сливного носка отодвигался обратно потоком 61 расплавленного металла к боковым стенкам 37А и 37В ванны 30.

Кроме того, в соответствии со способом излучения электронных лучей настоящего варианта осуществления поток 61 расплавленного металла формируется путем перекрытия потоков, образованных первой прямолинейной частью L1 и второй прямолинейной частью L2. Следовательно, по сравнению со случаем, когда электронный луч излучается вдоль линии 25 облучения, проиллюстрированной в первом варианте осуществления, скорость, с которой ВНП направляются к боковым стенкам 37 ванны 30, может быть увеличена, и вероятность прилипания ВНП к гарнисажу 7 может быть дополнительно увеличена. Соответственно, даже если по меньшей мере какое-либо одно значение среди количества передаваемого тепла, скорости сканирования и распределения теплового потока каждой электронной пушки будет меньше, чем в настройках для электронной пушки, которая излучает электронный луч вдоль линии 25 облучения, проиллюстрированной в первом варианте осуществления, можно получить эффект, который равен или больше эффекта первого варианта осуществления.

Таким образом, излучая электронные лучи вдоль линии 25 облучения, как описано в способе производства металлического слитка в соответствии с настоящим вариантом осуществления, можно отодвинуть поток на поверхности расплавленного металла 5с к части 36 сливного носка обратно в направлении от линии 25 облучения к боковым стенкам 37А и 37В ванны 30. За счет этого ВНП, которые текли к части 36 сливного носка, могут быть направлены к боковым стенкам 37 ванны 30 и захвачены гарнисажем 7 на боковых стенках 37 ванны 30. Альтернативно, ВНП могут также растворяться при циркуляции через расплавленный металл 5с в ванне 30. За счет этого возникновение ситуации, в которой ВНП вытекают из ванны 30 в литейную форму 40 и попадают в слиток, может быть предотвращено.

Следует отметить, что линия 25 облучения особенно не ограничивается, и может использоваться любая произвольная форма при условии, что линия 25 облучения такова, что внутри последующей области S3 "две концевые части e1 и e2 располагаются около боковой стенки 37 (любой из 37А, 37В, 37С и 37D)" и "линия 25 облучения блокирует часть 36 сливного носка (таким образом, что предшествующая область S2 и часть 36 сливного носка надежно разделены линией 25 облучения)". Например, линия 25 облучения может быть расположена в центральной части в продольном направлении ванны 30 или может быть расположена около части 36 сливного носка. С точки зрения более надежного предотвращения вытекания ВНП из ванны 30 в литейную форму 40 линия 25 облучения предпочтительно располагается максимально близко к части 36 сливного носка.

2.3. Резюме.

Выше был описан способ производства металлического слитка согласно второму варианту осуществления настоящего изобретения. В соответствии с настоящим вариантом осуществления линия 25 облучения имеет Т-образную форму, которая включает в себя первую прямолинейную часть L1 вдоль боковой стенки 37D между двумя концевыми частями e1 и e2, и вторую прямолинейную часть L2, которая проходит назад, по существу, перпендикулярно к первой прямолинейной части L1. За счет излучения электронных лучей вдоль линии 25 облучения, имеющей эту форму, поток расплавленного металла к части 36 сливного носка может быть отодвинут обратно у линии 25 облучения и направлен к боковым стенкам 37 ванны 30. В результате ВНП, плавающие на поверхности расплавленного металла 5с, могут прилипнуть к гарнисажу 7 на боковых стенках 37 ванны 30. Альтернативно, ВНП могут также растворяться при циркуляции через расплавленный металл 5с в ванне 30. За счет этого возникновение ситуации, в которой ВНП вытекают из ванны 30 в литейную форму 40 и попадают в слиток, может быть предотвращено.

В дополнение к этому в соответствии со способом производства металлического слитка настоящего варианта осуществления, поскольку поток 61 расплавленного металла, который создается излучением электронных лучей вдоль линии 25 облучения, формируется путем наложения потоков, формируемых излучением электронных лучей вдоль соответствующих положений первой прямолинейной части L1 и второй прямолинейной части L2, поток 61 расплавленного металла является сильным потоком. Следовательно, ВНП могут надежно улавливаться гарнисажем. Кроме того, также возможно уменьшить количество передаваемого тепла, скорость сканирования или распределение теплового потока электронной пушки.

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.

В обычных способах производства титанового сплава принято удалять примеси, выдерживая расплавленный металл в течение длительного времени в ванне, чтобы тем самым растворить ВНП в расплавленном металле, одновременно заставляя ВВП прилипнуть к гарнисажу, образуемому на поверхности дна ванны. Следовательно, традиционно использовалась длинная ванна, чтобы тем самым гарантировать достаточное время пребывания расплавленного металла в ванне. Однако в соответствии со способом производства металлического слитка настоящего варианта 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, за счет использования короткой ванны в ЭЛ-печи 1 затраты на нагревание, такие как расход электричества, могут быть уменьшены, и соответственно могут быть уменьшены производственные затраты.

на ЭЛ-печь 1. В дополнение к этому при использовании короткой ванны вместо длинной ванны количество гарнисажа 7, образующегося в ванне, может быть уменьшено. Следовательно, выход может быть улучшен.

3. Третий вариант осуществления.

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

В способе производства металлического слитка в соответствии с настоящим вариантом осуществления, хотя форма линии 25 облучения является приблизительно такой же, как и в способе производства металлического слитка согласно первому варианту осуществления, количество электронных пушек, которые излучают электронные лучи, отличается от первого варианта осуществления. Ниже описываются главным образом отличия способа производства металлического слитка от первого варианта осуществления, и подробное описание настроек и обработки, аналогичных способу получения металлического слитка в соответствии с первым вариантом осуществления опускается. Следует отметить, что, хотя в следующем описании также описывается случай, в котором используется электронно-лучевая печь 1 с короткой ванной, проиллюстрированная на фиг. 3, настоящее изобретение не ограничивается этим примером, и также может быть применено к электронно-лучевой печи 1А с длинной ванной, проиллюстрированной на фиг. 1.

Далее способ для излучения электронных лучей в способе производства металлического слитка в соответствии с настоящим вариантом осуществления будет описан со ссылкой на фиг. 11. Фиг. 11 представляет собой вид сверху, иллюстрирующий один пример линии 25 облучения в способе производства металлического слитка в соответствии с настоящим вариантом осуществления.

В способе производства металлического слитка в соответствии с настоящим вариантом осуществления, как проиллюстрировано на фиг. 11, аналогично первому варианту осуществления, проиллюстрированному на фиг. 4, линия 25 облучения имеет выпуклую форму, которая выступает назад от части 36 сливного носка. В частности, линия 25 облучения имеет, например, V-образную форму. V-образная линия 25 облучения, проиллюстрированная на фиг. 11, состоит из первой прямолинейной части и второй прямолинейной части, которые проходят к центру ванны 30 от угловых частей на двух концах боковой стенки 37D, на которой предусмотрена часть 36 сливного носка. Концевая часть e1 первой прямолинейной части располагается у одного конца боковой стенки 37D, а концевая часть e2 второй прямолинейной части располагается у другого конца боковой стенки 37D.

Излучение электронных лучей вдоль первой прямолинейной части и второй прямолинейной части выполняется разными электронными пушками. Другими словами, электронные лучи излучаются вдоль V-образной линии 25 облучения двумя электронными пушками. Например, в том случае, когда диапазон излучения электронного луча ограничивается, например, пространством, занимаемым оборудованием, и следовательно излучение вдоль V-образной линии 25 облучения, проиллюстрированной на фиг. 4, не может быть выполнено с использованием единственной электронной пушки, как в первом варианте осуществления, электронные лучи могут излучаться с использованием множества электронных пушек, как в настоящем варианте осуществления.

При этом электронные лучи излучаются вдоль линии 25 облучения с использованием двух электронных пушек так, чтобы соответствующие пути электронных лучей пересекались или перекрывались на поверхности расплавленного металла 5с. Например, в той части (в вершине V-образной части), в которой первая прямолинейная часть и вторая прямолинейная часть соединяются, как проиллюстрировано на фиг. 11, электронные лучи могут излучаться так, чтобы эти части прямой линии пересекались. Другими словами, первая прямолинейная часть и вторая прямолинейная часть соединяются так, чтобы первая прямолинейная часть и вторая прямолинейная часть пересекались, и не были связаны на концевых частях, противоположных концевым частям e1 и e2 у боковой стенки 37D.

В случае плавления металлического сплава точность управления положением облучения электронным лучом уменьшается за счет испарения летучего ценного металла, такого как алюминий. Плавление сырья электронным лучом в ЭЛ-печи выполняется в вакуумной камере, и если летучий ценный металл испаряется, то степень вакуума внутри вакуумной камеры ухудшается, и прямолинейность электронного луча уменьшается. В результате становится трудно управлять положением облучения электронным лучом с высокой точностью. В такой ситуации будет трудно точно выполнять облучение с использованием двух электронных пушек вдоль V-образной линии 25 облучения, в которой две прямолинейные части соединяются вместе одной парой концов, как проиллюстрировано на фиг. 4. Кроме того, если возникает зазор между этими двумя прямолинейными частями, вероятность того, что на поверхности расплавленного металла 5с будет образовываться поток от зазора к части 36 сливного носка, и что ВНП будут вытекать к части 36 сливного носка, увеличится.

Следовательно, в случае излучения электронных лучей с использованием двух электронных пушек две концевые части e1 и e2 располагаются у боковой стенки 37, и линия 25 облучения располагается так, чтобы она блокировала часть 36 сливного носка. В дополнение к этому, для того чтобы надежно предотвратить вытекание ВНП в расплавленном металле 5с в ванне 30 из части 36 сливного носка, пути электронных лучей, излучаемых двумя электронными пушками, делаются пересекающимися. За счет этого,

даже если точность управления положениями электронных лучей до некоторой степени ухудшается, из-за того, что первая прямолинейная часть и вторая прямолинейная часть пересекаются, между ними не образуется зазор, и ВНП в расплавленном металле 5с в ванне 30 не вытекают из части 36 сливного носка. В частности, вероятность вытекания ВНП к части 36 сливного носка может быть дополнительно уменьшена путем увеличения длины от точки пересечения до концевой части до 5 мм или больше как в первой прямолинейной части, так и во второй прямолинейной части.

Первая прямолинейная часть и вторая прямолинейная часть могут соединяться в положении, отличающемся от их концевых частей. Например, в состоянии, в котором прямолинейность электронных лучей сохраняется, как проиллюстрировано на фиг. 11, первая прямолинейная часть и вторая прямолинейная часть могут соединяться в положении, которое отстоит от концевой части, противоположной угловой части ванны 30, на $1/4$ полуширины D ванны 30 в направлении ширины ванны 30 (т.е. в положении, в котором $D1=D/4$). Следует отметить, что если возможно выполнять управление положением электронного луча с высокой точностью, соответствующие длины первой прямолинейной части и второй прямолинейной части могут быть сделаны равными длине от соответствующей угловой части ванны 30 до точки пересечения, и V-образная линия 25 облучения может иметь вид, в котором две прямолинейные части соединяются вместе своими концами, как проиллюстрировано на фиг. 4.

Также возможно использовать две электронных пушки в том случае, когда линия 25 облучения имеет форму, отличающуюся от V-образной формы. Например, линия 25 облучения может иметь криволинейную форму, такую как парабола, в которой вершина находится на центральной линии ванны 30. Альтернативно, линия 25 облучения может иметь, по существу, полукруглую форму, как проиллюстрировано на фиг. 7. В таких случаях также достаточно блокировать путь потока расплавленного металла 5с между предшествующей областью S2 и частью 36 сливного носка, заставляя пути электронного луча пересекаться в части, в которой линии облучения соединяются. Кроме того, в случае использования трех или более электронных пушек также достаточно того, чтобы пути электронных лучей, излучаемых различными электронными пушками, пересекались в той части, в которой пути облучения соединяются.

4. Четвертый вариант осуществления.

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

4.1. Схема способа производства металлического слитка.

В способе производства металлического слитка в соответствии с настоящим вариантом осуществления линия облучения, которая расположена на поверхности расплавленного металла в ванне, имеет форму прямой линии, которая, по существу, параллельна направлению ширины ванны. Путь течения расплавленного металла к части сливного носка, по которому расплавленный металл из ванны вытекает в литейную форму, блокируется путем излучения электронного луча вдоль вышеупомянутой линии облучения. За счет этого ВНП, которые являются примесями, плавающими на поверхности расплавленного металла, отодвигаются обратно в ванну так, чтобы ВНП не вытекали в литейную форму из части сливного носка. ВНП, которые отодвигаются обратно в ванну, растворяются во время нахождения в ванне. В результате можно предотвратить вытекание ВНП в литейную форму.

Способ производства металлического слитка в соответствии с настоящим вариантом осуществления будет теперь описан более подробно на основе фиг. 12 и 13. Фиг. 12 представляет собой вид сверху, иллюстрирующий линию 25 облучения согласно способу производства металлического слитка настоящего варианта осуществления. Фиг. 13 представляет собой пояснительный чертеж, иллюстрирующий поток расплавленного металла, который образуется на поверхности расплавленного металла 5с, когда электронный луч излучается вдоль линии 25 облучения, проиллюстрированной на фиг. 12. Следует отметить, что вид сверху на фиг. 12 соответствует ванне 30 электронно-лучевой печи 1, показанной на фиг. 3. Следует отметить, что хотя в следующем описании также описывается случай, в котором используется электронно-лучевая печь 1 с короткой ванной, проиллюстрированная на фиг. 3, настоящее изобретение не ограничивается этим примером, и может быть применено к электронно-лучевой печи 1А с длинной ванной, проиллюстрированной на фиг. 1.

В способе производства металлического слитка в соответствии с настоящим вариантом осуществления две концевые части e1 и e2 располагаются около боковой стенки 37 ванны 30, и линия 25 облучения располагается на поверхности расплавленного металла 5с в ванне 30 так, чтобы она блокировала часть 36 сливного носка. В частности, как проиллюстрировано на фиг. 12, линия 25 облучения имеет форму прямой линии, которая, по существу, параллельна направлению ширины ванны 30 между двумя концевыми частями e1 и e2. Концевые части e1 и e2 линии 25 облучения располагаются около боковой стенки 37D, в которой предусмотрена часть 36 сливного носка. Линия 25 облучения, проиллюстрированная на фиг. 12, имеет приблизительно ту же самую длину, что ширина отверстия части 36 сливного носка. Линия 25 облучения располагается в последующей области S3 между предшествующей областью S2, которая включает в себя линии 26 подачи, и боковой стенкой 37D.

Электронный луч излучается на поверхности расплавленного металла 5с вдоль линии 25 облучения, имеющей описанную выше форму. За счет этого конвекция Марангони создается с помощью температурного градиента на поверхности расплавленного металла 5с, и, как проиллюстрировано на фиг. 13, в

наружном слое расплавленного металла 5с образуется обратный поток наружного слоя расплавленного металла 5с (поток 61 расплавленного металла) от линии 25 облучения. Далее будет рассмотрен случай, в котором, когда сырье 5 капает вдоль линий 26 подачи в расплавленный металл 5с в ванне 30, температура расплавленного металла (температура подачи сырья Т1), который капает вдоль линий 26 подачи, является более высокой, чем температура Т0 расплавленного металла, накопленного в ванне 30. В этом случае области около линий 26 подачи, на которые капает расплавленное сырье 5 (расплавленный металл), являются областями высокой температуры, в которых температура является более высокой, чем температура расплавленного металла 5с в других областях. Следовательно, как проиллюстрировано на фиг. 13, расплавленный металл 5с в областях около линий 26 подачи течет от линий 26 подачи к центральной части в направлении ширины (направлении Х) ванны 30, и поток 62 расплавленного металла формируется в наружном слое расплавленного металла 5с.

Следует отметить, что хотя это и не показано на фиг. 13, расплавленный металл 5с в областях около линий 26 подачи также течет от линий 26 подачи к боковым стенкам 37А и 37В в направлении ширины (направлении Х) ванны 30, как проиллюстрировано на фиг. 5, и поток расплавленного металла (поток 63 расплавленного металла на фиг. 5) формируется в наружном слое расплавленного металла 5с. ВНП 8, содержащиеся в расплавленном металле, который капал на линии 26 подачи, увлекаются потоком расплавленного металла (потоком 63 расплавленного металла на фиг. 5), движутся к боковым стенкам 37А и 37В ванны 30, и прилипают к гарнизату 7, образуемому на внутренних поверхностях боковых стенок 37А и 37В, и тем самым улавливаются.

Потоки 62 расплавленного металла, которые текут к центральной части ванны 30 от каждой из левой и правой линий 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 и текут к части 36 сливного носка. Для того чтобы гарантировать, что примеси, такие как ВНП 8, не вытекают из части 36 сливного носка в литейную форму 40, предпочтительно, чтобы формировался поток наружного слоя расплавленного металла 5с, который отталкивает ВНП, увлекаемые потоком 60 расплавленного металла к части 36 сливного носка, в обратную сторону, и тем самым удерживает ВНП вдали от части 36 сливного носка.

Следовательно, в способе производства металлического слитка в соответствии с настоящим вариантом осуществления, как проиллюстрировано на фиг. 12 и 13, две концевые части е1 и е2 располагаются около боковой стенки 37D, и линия 25 облучения, имеющая форму прямой линии, располагается на поверхности расплавленного металла 5с так, чтобы она блокировала часть 36 сливного носка. Температура расплавленного металла в области около линии 25 облучения становится более высокой, чем температура расплавленного металла в области 23 облучения для удержания тепла. Следовательно, возникает конвекция Марангони, и образуется обратный поток 61 расплавленного металла от линии 25 облучения. Поток 61 расплавленного металла является потоком, который отталкивает назад ВНП 8, увлекаемые потоком 60 расплавленного металла к части 36 сливного носка в центральной части в направлении ширины ванны 30. Посредством потока 61 расплавленного металла ВНП 8, которые текли к части 36 сливного носка, отодвигаются обратно от линии 25 облучения и текут к внутренней части ванны 30. ВНП 8, которые были отодвинуты обратно к внутренней части ванны 30, увлекаются потоком на поверхности расплавленного металла 5с и растворяются при циркуляции через ванну 30. Альтернативно, после того как ВНП 8 переместились к боковым стенкам 37А и 37В ванны 30, они прилипают к гарнизату 7, образуемому на боковых стенках ванны 30, и больше не двигаются.

Таким образом, в способе производства металлического слитка в соответствии с настоящим вариантом осуществления электронный луч излучается вдоль линии 25 облучения, две концевые части е1 и е2 которой располагаются около боковой стенки 37, и которая располагается так, чтобы блокировать часть 36 сливного носка. За счет этого формируется обратный поток 61 расплавленного металла от области высокой температуры расплавленного металла 5с около линии 25 облучения, и примеси, такие как ВНП, которые текли в сторону части 36 сливного носка, отодвигаются обратно от части 36 сливного носка. Соответственно, может быть предотвращено вытекание рассматриваемых примесей из ванны 30 в литейную форму 40. В результате возникновение ситуации, в которой примеси попадают в слиток, может быть предотвращено.

4.2. Расположение линии облучения.

В способе производства металлического слитка в соответствии с настоящим вариантом осуществления линия 25 облучения имеет форму прямой линии. За счет этого расстояние сканирования электронного луча может быть уменьшено. В результате возникновение ситуации, в которой ВНП 8 в расплавленном металле 5с проходят через часть 36 сливного носка и вытекают из ванны 30 в литейную форму 40, может быть предотвращено.

Как проиллюстрировано на фиг. 12 и 13, в том случае, когда форма ванны 30 на виде сверху является прямоугольной, желательно располагать линию 25 облучения вдоль боковой стенки 37D. Боковая стенка 37D, по существу, параллельна направлению ширины (направлению Х) ванны 30. Потоки 62 расплавленного металла, которые текут к центральной части ванны 30 от каждой из линий 26 подачи, стал-

квиваются 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. Поток 60 расплавленного металла, по существу, параллелен продольному направлению ванны 30. Соответственно, путем расположения линии 25 облучения вдоль боковой стенки 37D ванны 30 можно эффективно сдерживать поток расплавленного металла 5с к части 36 сливного носка (поток 60 расплавленного металла). Кроме того, образуется обратный поток 61 расплавленного металла от линии 25 облучения. За счет этого ВНП 8, которые увлекаются потоком расплавленного металла 5с и текут к части 36 сливного носка, могут быть отодвинуты обратно от части 36 сливного носка потоком 61 расплавленного металла внутрь ванны 30.

Достаточно, чтобы линия 25 облучения располагалась, по меньшей мере, в последующей области S3 между предшествующей областью S1, которая включает в себя линии 26 подачи, и боковой стенкой 37D. Для того чтобы более надежно предотвратить вытекание примесей, как проиллюстрировано на фиг. 12 и 13, предпочтительно, чтобы линия 25 облучения располагалась у входного потока в часть 36 сливного носка. При этом длина линии 25 облучения делается, по меньшей мере, равной или больше, чем ширина отверстия части 36 сливного носка. Предпочтительно, чтобы длина линии 25 облучения была приблизительно той же самой, что и ширина отверстия части 36 сливного носка. За счет этого расстояние сканирования электронного луча, излучаемого вдоль линии 25 облучения, может быть сделано максимально коротким. В результате даже в том случае, когда скорость сканирования электронного луча уменьшается, поток 61 расплавленного металла, создаваемый излучением электронного луча вдоль линии 25 облучения, ослабляется незначительно. Соответственно, поскольку ВНП 8 надежно отодвигаются обратно внутрь ванны 30 до того, как они смогут попасть в часть 36 сливного носка, ВНП 8 не вытекают из ванны 30.

Расположение линии 25 облучения в способе производства металлического слитка в соответствии с настоящим вариантом осуществления также применимо к длинной ванне, а не только к короткой ванне, как проиллюстрировано на фиг. 12 и 13. Пример случая, в котором линия 25 облучения, имеющая форму прямой линии, используется в длинной ванне, которая включает в себя плавильную ванну 31 и ванну 33 очистки (далее упоминаемые как "длинные ванны 31 и 33"), проиллюстрирован на фиг. 14 и 15. Следует отметить, что на фиг. 14 и 15 плавильная ванна 31 и ванна 33 очистки для удобства показаны таким образом, что плавильная ванна 31 и ванна 33 очистки моделируются как одна ванна. Например, как проиллюстрировано на фиг. 14, аналогично фиг. 12 и 13, линия 25 облучения, имеющая форму прямой линии с длиной, которая является приблизительно равной ширине отверстия части 36 сливного носка, располагается у входного отверстия части 36 сливного носка. Две концевые части e1 и e2 линии 25 облучения располагаются около боковой стенки 37D, и линия 25 облучения располагается так, чтобы она блокировала часть 36 сливного носка. За счет этого, аналогично фиг. 12 и 13, ВНП 8, которые текут к части 36 сливного носка вместе с расплавленным металлом 5с, сдерживаются у линии 25 облучения и отодвигаются обратно. Следовательно, ВНП 8 остаются в длинных ваннах 31 и 33, и можно надежно предотвратить вытекание ВНП 8 из длинных ванн 31 и 33 в литейную форму 40.

Кроме того, в случае длинных ванн 31 и 33 предпочтительно также располагать линию 25 облучения в последующей области S3 между предшествующей областью S2, включающей в себя область 28 подачи сырья, в которую капает сырье 5, и боковой стенкой 37D. Как проиллюстрировано на фиг. 14 и 15, в длинных ваннах 31 и 33 область 28 подачи сырья, в которую капает сырье 5, обычно находится в самом дальнем положении в продольном направлении (в направлении Y) длинных ванн 31 и 33. Другими словами, область 28 подачи сырья располагается около боковой стенки 37C, которая противоположна части 36 сливного носка в продольном направлении длинных ванн 31 и 33. Соответственно, например, как проиллюстрировано на фиг. 15, линия 25 облучения может быть расположена в центре в продольном направлении длинных ванн 31 и 33. Положение в центре в продольном направлении длинных ванн 31 и 33 является положением в последующей области S3, которая находится ниже по потоку относительно предшествующей области S2, которая включает в себя область 28 подачи сырья. При этом две концевые части e1 и e2 линии 25 облучения располагаются около боковых стенок 37A и 37B. За счет этого можно предотвратить прохождение ВНП 8 через линию 25 облучения и их вытекание к части 36 сливного носка.

Следует отметить, что фактическое положение облучения, в котором электронный луч излучается на линию 25 облучения, не обязательно должно находиться строго на линии 25 облучения. Достаточно того, чтобы фактическое положение облучения, в котором излучается электронный луч, находилось приблизительно на линии 25 облучения, которая задается как мишень, и никаких проблем не возникает до тех пор, пока фактический путь электронного луча находится внутри допустимого диапазона отклонения от линии 25 облучения, которая задана в качестве мишени. Кроме того, фраза "концевые части e1 и e2 располагаются около боковой стенки 37" означает, что концевые части e1 и e2 располагаются на внутренней поверхности боковой стенки 37 или в области, в которой расстояние x от внутренней поверхности боковой стенки 37 составляет не более 5 мм. Концевые части e1 и e2 линии 25 облучения устанавливаются в этой области, и электронный луч излучается вдоль линии 25 облучения, и формирование гарнисажа 7 на внутренней поверхности боковых стенок 37 длинных ванн 31 и 33 не составляет проблемы, и электронный луч может излучаться на гарнисаж 7.

Кроме того, что касается электронных лучей, излучаемых из соответствующих электронных пушек, аналогично первому варианту осуществления условия излучения, такие как количество передаваемого тепла, скорость сканирования и распределение теплового потока электронного луча, 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.

4.3. Ускорение растворения ВНП.

В способе производства металлического слитка в соответствии с настоящим вариантом осуществления за счет блокирования части 36 сливного носка посредством линии 25 облучения ВНП 8 удерживаются внутри ванны 30, и ВНП 8 растворяются при их циркуляции внутри ванны. За счет этого возникает ситуация, в которой ВНП вытекают из ванны 30 в литейную форму 40, может быть предотвращено. Таким образом, до тех пор, пока ВНП 8 не растворятся, существует вероятность того, что ВНП 8 могут вытечь из ванны 30 в литейную форму 40. Следовательно, для того, чтобы уменьшить вероятность вытекания ВНП 8 из ванны 30 в литейную форму 40, нужно ускорить растворение ВНП 8, которые присутствуют в ванне 30. С этой целью электронный луч для ускорения растворения ВНП (соответствует "второму электронному лучу" настоящего изобретения) может излучаться на поверхность расплавленного металла 5с в ванне 30.

Электронный луч для ускорения растворения ВНП, например, может излучаться на положение застоя потока расплавленного металла 5с. ВНП 8 склонны застаиваться в положении застоя в потоке расплавленного металла 5с. Таким образом, ВНП 8 внутри ванны может быть растворены более быстро путем излучения электронного луча для ускорения растворения ВНП в том положении, в котором они застаиваются. Следует отметить, что нет никакой необходимости непрерывно излучать электронный луч для ускорения растворения ВНП, и достаточно того, чтобы подходящим образом излучать электронный луч для ускорения растворения ВНП в положении застоя в потоке расплавленного металла 5с, в котором застаиваются ВНП 8. Кроме того, что касается электронной пушки для излучения электронного луча для ускорения растворения ВНП, может использоваться отдельная электронная пушка для ускорения растворения ВНП (не показана на чертежах), или альтернативно электронные пушки 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) также могут использоваться для ускорения растворения ВНП. Положение застоя в потоке расплавленного металла 5с может быть определено заранее с помощью моделирования и т.п. Положение застоя может быть определено путем выполнения моделирования на основе положения и формы линии 25 облучения, а также количества передаваемого тепла и скорости сканирования электронного луча и т.п., которые устанавливаются, как было описано выше.

4.4. Модификация.

Далее будет описана одна модификация четвертого варианта осуществления. Выше были описаны примеры, в которых линия 25 облучения на поверхности расплавленного металла 5с в ванне 30 имеет форму прямой линии, в которой две концевые части e1 и e2 расположены вблизи боковых стенок 37 так, чтобы блокировать часть 36 сливного носка как проиллюстрировано на фиг. 12 и на 13. Однако настоящее изобретение не ограничивается этими примерами. Даже если форма линии 25 облучения отличается от формы в примере, проиллюстрированном на фиг. 12 или 13, путь потока расплавленного металла к части 36 сливного носка, который позволяет расплавленному металлу 5с в ванне 30 вытекать в литейную форму 40, может блокироваться, и ВНП 8 могут быть отодвинуты обратно внутрь ванны 30.

Например, линия 25 облучения может иметь выпуклую форму, которая выступает к части 36 сливного носка. В частности, как проиллюстрировано на фиг. 16, линия 25 облучения может иметь V-образную форму, две концевые части e1 и e2 которой располагаются около боковых стенок 37А и 37В, и которая выступает к части 36 сливного носка. За счет этого, поскольку часть 36 сливного носка блокируется, можно предотвратить вытекание ВНП 8 в расплавленном металле 5с к части 36 сливного носка. Кроме того, за счет излучения электронного луча вдоль линии 25 облучения может быть сформирован обратный поток расплавленного металла 5с от линии 25 облучения. В результате ВНП 8 могут быть отодвинуты обратно внутрь ванны 30.

Альтернативно, как проиллюстрировано на фиг. 17, линия 25 облучения может иметь форму дуги окружности, две концевые части e1 и e2 которой располагаются около боковых стенок 37А и 37В, и которая выступает к части 36 сливного носка. В этом случае также, поскольку часть 36 сливного носка блокируется, можно предотвратить вытекание ВНП 8 в расплавленном металле 5с к части 36 сливного носка. Кроме того, за счет излучения электронного луча вдоль линии 25 облучения может быть сформирован обратный поток расплавленного металла 5с от линии 25 облучения. В результате ВНП 8 могут быть отодвинуты обратно внутрь ванны 30.

В дополнение к этому линия 25 облучения может иметь U-образную форму, выпуклую к части 36 сливного носка. Например, как проиллюстрировано на фиг. 18, U-образная линия 25 облучения включает в себя первую прямолинейную часть L1, вторую прямолинейную часть L2 и третью прямолинейную

часть L3. Первая прямолинейная часть L1 располагается, по существу, параллельно боковой стенке 37D между двумя концевыми частями e1 и e2. Первая прямолинейная часть L1 располагается так, чтобы блокировать часть 36 сливного носка. Вторая прямолинейная часть L2 и третья прямолинейная часть L3 располагаются так, чтобы они проходили, по существу, перпендикулярно к двум концам первой прямолинейной части L1 вдоль пары боковых стенок 37A и 37B, которые обращены друг к другу. Две концевые части e1 и e2 линии 25 облучения располагаются около боковых стенок 37A и 37B ванны 30. За счет этого, поскольку часть 36 сливного носка блокируется, можно предотвратить вытекание ВНП 8 в расплавленном металле 5с к части 36 сливного носка. Кроме того, за счет излучения электронного луча вдоль линии 25 облучения может быть сформирован обратный поток расплавленного металла 5с от линии 25 облучения. В результате ВНП 8 могут быть отодвинуты обратно внутрь ванны 30.

Следует отметить, что на U-образной линии 25 облучения угол, в котором соединяются первая прямолинейная часть L1 и вторая прямолинейная часть L2, и угол, в котором соединяются первая прямолинейная часть L1 и третья прямолинейная часть L3, могут быть прямыми углами, как проиллюстрировано на фиг. 18, или могут быть скруглены.

Также в модификации фактическое положение облучения, в котором электронный луч излучается на линию 25 облучения, не обязательно должно находиться строго на линии 25 облучения. Достаточно того, чтобы фактическое положение облучения, в котором излучается электронный луч, находилось приблизительно на линии 25 облучения, которая задается как мишень, и никаких проблем не возникает до тех пор, пока фактический путь электронного луча находится внутри допустимого диапазона отклонения от линии 25 облучения, которая задана в качестве мишени. Кроме того, фраза "концевые части e1 и e2 располагаются около боковой стенки 37" означает, что концевые части e1 и e2 располагаются на внутренней поверхности боковой стенки 37 или в области, в которой расстояние x от внутренней поверхности боковой стенки 37 составляет не более 5 мм. Концевые части e1 и e2 линии 25 облучения устанавливаются в этой области, и электронный луч излучается вдоль линии 25 облучения, и формирование гарнисажа 7 на внутренней поверхности боковых стенок 37 ванны 30 не составляет проблемы, и электронный луч может излучаться на гарнисаж 7.

Кроме того, что касается каждой линии 25 облучения, проиллюстрированной на фиг. 16-18, электронный луч может излучаться вдоль линии 25 облучения с использованием одной электронной пушки, или электронные лучи могут излучаться вдоль линии 25 облучения с использованием множества электронных пушек.

В дополнение к этому в том случае, когда линия 25 облучения расположена, как проиллюстрировано на фиг. 16-18, когда электронный луч излучается вдоль соответствующей линии 25 облучения, формируется обратный поток расплавленного металла 5с от линии 25 облучения к центру в направлении ширины (направлении X) ванны 30. Другими словами, поток расплавленного металла 5с формируется в направлении к центру от боковых стенок 37A и 37B с той стороны линии 25 облучения, которая находится дальше от сливного носка. При этом температура расплавленного металла в области около линии 25 облучения является более высокой, чем температура расплавленного металла в области 23 облучения для удержания тепла. Соответственно, возникает конвекция Марангони, и образуется поток 61 расплавленного металла к центру от боковых стенок 37A и 37B ванны 30.

При этом может происходить застой в потоке расплавленного металла 5с в центре в направлении ширины ванны 30. Следовательно, электронный луч для ускорения растворения ВНП может излучаться на положение застоя потока расплавленного металла 5с. ВНП 8 склонны застаиваться в положении застоя потока расплавленного металла. Путем излучения электронного луча для ускорения растворения ВНП в этом положении застоя ВНП 8 в ванне могут быть растворены более быстро.

4.5. Резюме.

Выше был описан способ производства металлического слитка в соответствии с настоящим вариантом осуществления. В соответствии с настоящим вариантом осуществления на поверхности расплавленного металла 5с в ванне 30 две концевые части e1 и e2 линии 25 облучения располагаются у боковых стенок 37, и линия 25 облучения располагается так, чтобы блокировать часть 36 сливного носка. За счет этого путь потока расплавленного металла к части 36 сливного носка, который позволяет расплавленному металлу вытекать из ванны 30 в литейную форму, блокируется. В результате ВНП 8 задерживаются у входного отверстия части 36 сливного носка. ВНП 8 продолжают циркулировать внутри ванны 30, и при этом растворяются. За счет этого можно предотвратить вытекание ВНП 8, содержащихся в расплавленном металле 5с, из части 36 сливного носка в литейную форму 40.

Кроме того, за счет прямолинейной формы линии 25 облучения расстояние сканирования электронного луча может быть уменьшено. Следовательно, даже если скорость сканирования электронного луча уменьшается, поток расплавленного металла 5с, создаваемый излучением электронного луча вдоль линии 25 облучения, ослабляется незначительно. Соответственно, поскольку ВНП 8 надежно отодвигаются обратно внутрь ванны 30 до того, как они смогут попасть в часть 36 сливного носка, ВНП 8 не вытекают из ванны 30.

В дополнение к этому благодаря тому, что линия 25 облучения имеет форму прямой линии, управление электронной пушкой (пушками) становится простым, и количество используемых электронных

пушек может быть сведено к минимуму.

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.

В обычных способах производства титанового сплава принято удалять примеси, выдерживая расплавленный металл в течение длительного времени в ванне, чтобы тем самым растворить ВНП в расплавленном металле, одновременно заставляя ВВП прилипнуть 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 со способом производства металлического слитка настоящего варианта 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, за счет использования короткой ванны в ЭЛ-печи 1 затраты на нагревание, такие как расход электричества, могут быть уменьшены, и соответственно могут быть уменьшены производственные затраты на ЭЛ-печь 1. В дополнение к этому при использовании короткой ванны вместо длинной ванны количество гарнисажа 7, образующегося в ванне, может быть уменьшено. Следовательно, выход может быть улучшен.

5. Расположение линии облучения в многоступенчатой ванне.

Хотя выше были описаны случаи, в которых способы производства металлического слитка согласно вышеописанным вариантам осуществления применяются к короткой ванне 30, проиллюстрированной на фиг. 3, или к длинным ваннам 31 и 33, проиллюстрированным на фиг. 1, настоящее изобретение не ограничивается этими примерами. Например, ванна, к которой применяется способ производства металлического слитка в соответствии с настоящим изобретением, может быть многоступенчатой ванной, в которой множество разделенных ванн объединены и расположены последовательно. Например, как проиллюстрировано на фиг. 19, двухступенчатая ванна 30 может быть получена путем объединения и последовательного расположения первой ванны 30А и второй ванны 30В.

Аналогично ванне 30, проиллюстрированной на фиг. 4, например, первая ванна 30А (соответствует "разделенной ванне" настоящего изобретения) является устройством для очистки расплавленного металла 5с сырья 5, который капает вдоль линий 26 подачи, и накопления расплавленного металла 5с, чтобы тем самым удалить примеси, содержащиеся в расплавленном металле 5с. Первая ванна 30А является прямоугольной ванной и состоит из четырех боковых стенок 37А, 37В, 37С и 37D. Часть 36 сливного носка предусматривается в боковой стенке 37D первой ванны 30А. Расплавленный металл 5с первой ванны 30А, который вытекает из части 36 сливного носка, накапливается во второй ванне 30В.

Вторая ванна 30В (соответствует "разделенной ванне" настоящего изобретения) является устройством для очистки расплавленного металла 5с, который поступает из первой ванны 30А, и накопления расплавленного металла 5с, чтобы тем самым удалить примеси, содержащиеся в расплавленном металле 5с. Вторая ванна 30В также является прямоугольной ванной и состоит из четырех боковых стенок 37А, 37В, 37С и 37D. Часть 36 сливного носка предусматривается в боковой стенке 37D второй ванны 30В. Расплавленный металл 5с второй ванны 30В, который вытекает из части 36 сливного носка, вытекает в литейную форму 40.

В этом типе ванны 30 с двумя ступенями, которая состоит из двух разделенных ванн, в каждой из первой ванны 30А и второй ванны 30В две концевые части e1 и e2 линии 25 облучения располагаются у боковой стенки 37, а линия 25 облучения располагается так, чтобы блокировать часть 36 сливного носка. В каждой из первой ванны 30А и второй ванны 30В образуется обратный поток 61 расплавленного металла от линии 25 облучения за счет излучения электронного луча на поверхность расплавленного металла 5с вдоль линии 25 облучения. В результате поток расплавленного металла 5с к части 36 сливного носка отодвигается обратно, и таким образом можно предотвратить вытекание примесей, таких как ВНП, из первой ванны 30А во вторую ванну 30В, и из второй ванны 30В в литейную форму 40.

Следует отметить, что хотя многоступенчатая ванна, которая проиллюстрирована на фиг. 19, является двухступенчатой ванной, настоящее изобретение не ограничивается этим примером. Многоступенчатая ванна может быть ванной с тремя или более ступенями, в которой три или более разделенные ванны объединены и расположены последовательно. В этом случае также в каждой разделенной ванне две концевые части линии облучения располагаются около боковой стенки, а линия облучения располагается так, чтобы она блокировала часть сливного носка. Обратный поток расплавленного металла от линии облучения создается путем излучения электронного луча на поверхность расплавленного металла вдоль линии облучения. За счет этого поток расплавленного металла к части сливного носка может быть отодвинут обратно, и таким образом можно предотвратить вытекание примесей, таких как ВНП, в ванну или в литейную форму на следующей ступени.

Примеры

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.

(1) Примеры линейного облучения.

Сначала со ссылками на табл. 1 и фиг. 20-43 будут описаны примеры, в которых было выполнено моделирование для проверки эффекта удаления ВНП с помощью линейного облучения в соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения с первого по четвертый, которые были описаны выше.

Что касается настоящих примеров, в примерах 1-8, 11-13 и сравнительных примерах 1, 3 и 4 поток расплавленного металла в ванне 30 моделировался для случая, в котором титановый сплав использовался в качестве сырья 5, и электронный луч излучался вдоль линии 25 облучения на расплавленный металл 5с титанового сплава, который накапливался в короткой ванне, проиллюстрированной на фиг. 3. Было установлено распределение температур расплавленного металла 5с в ванне 30, поведение ВНП и количество ВНП, вытекающих из ванны 30. Кроме того, в примерах 9 и 10 и сравнительном примере 2 моделировался поток расплавленного металла в ваннах 31 и 33 в то время, когда электронный луч излучался вдоль линии 25 облучения на расплавленный металл 5с титанового сплава, который накапливался в длинной ванне, проиллюстрированной на фиг. 1.

В примере 1, как проиллюстрировано на фиг. 4, две концевые части e1 и e2 V-образной линии 25 облучения располагались у боковой стенки 37D, а V-образная линия 25 облучения располагалась так, чтобы покрыть часть 36 сливного носка, и электронный луч излучался вдоль линии 25 облучения.

В примере 2, как проиллюстрировано на фиг. 7, две концевые части e1 и e2 дугообразной линии 25 облучения располагались у боковой стенки 37D, а дугообразная линия 25 облучения располагалась так, чтобы покрыть часть 36 сливного носка, и электронный луч излучался вдоль линии 25 облучения.

В примере 3, как проиллюстрировано на фиг. 10, две концевые части e1 и e2 T-образной линии 25 облучения располагались у боковой стенки 37D, а T-образная линия 25 облучения располагалась так, чтобы покрыть часть 36 сливного носка, и электронный луч излучался вдоль линии 25 облучения.

Примеры 4 и 5 являются примерами случая, в котором электронные лучи излучаются на линию 25 облучения с использованием двух электронных пушек. В примере 4, как проиллюстрировано на фиг. 11, две концевые части e1 и e2 V-образной линии 25 облучения располагались на обоих концах боковой стенки 37D, а V-образная линия 25 облучения располагалась так, чтобы покрыть часть 36 сливного носка, и электронные лучи излучались вдоль линии 25 облучения. В примере 5, как проиллюстрировано на фиг. 25, хотя линия 25 облучения была расположена аналогично показанной на фиг. 11 (пример 4), направление сканирования электронных лучей было изменено. Количество тепла, передаваемого электронными лучами этих двух электронных пушек, используемых в каждом из примера 4 и примера 5, составляло 0,125 [МВт] соответственно.

В примере 6, как проиллюстрировано на фиг. 27, две концевые части e1 и e2 V-образной линии 25 облучения располагались на обоих концах боковой стенки 37D, а V-образная линия 25 облучения располагалась так, чтобы покрыть часть 36 сливного носка, и электронный луч излучался вдоль линии 25 облучения.

В примере 7, как проиллюстрировано на фиг. 29, две концевые части e1 и e2 V-образной линии 25 облучения располагались на обоих концах боковой стенки 37D, а V-образная линия 25 облучения располагалась так, чтобы покрыть часть 36 сливного носка, и электронный луч излучался вдоль линии 25 облучения. В примере 7 вершина Q V-образной формы была расположена в положении, которое отклонялось от центра в направлении ширины ванны 30.

В примере 8, как проиллюстрировано на фиг. 12, две концевые части e1 и e2 линии 25 облучения, имеющей форму прямой линии, располагались у боковой стенки 37D, а линия 25 облучения располагалась так, чтобы покрыть часть 36 сливного носка, и электронный луч излучался вдоль линии 25 облучения.

В примере 9, как проиллюстрировано на фиг. 14, в длинных ваннах 31 и 33 две концевые части e1 и e2 линии 25 облучения, имеющей форму прямой линии, располагались у боковой стенки 37D, а линия 25 облучения располагалась так, чтобы покрыть часть 36 сливного носка, и электронный луч излучался вдоль линии 25 облучения.

В примере 10, как проиллюстрировано на фиг. 15, в длинных ваннах 31 и 33 две концевые части e1 и e2 линии 25 облучения, имеющей форму прямой линии, располагались у обоих концов боковой стенки 37D, а линия 25 облучения располагалась в центре в продольном направлении длинных ванн 31 и 33, и электронный луч излучался вдоль линии 25 облучения.

В примере 11, как проиллюстрировано на фиг. 16, две концевые части e1 и e2 V-образной линии 25 облучения располагались у боковых стенок 37А и 37В, а V-образная линия 25 облучения, которая выступала к части 36 сливного носка, располагалась так, чтобы покрыть часть 36 сливного носка, и электронный луч излучался вдоль линии 25 облучения.

В примере 12, как проиллюстрировано на фиг. 17, две концевые части e1 и e2 дугообразной линии 25 облучения располагались у боковых стенок 37А и 37В, а дугообразная линия 25 облучения, которая выступала к части 36 сливного носка, располагалась так, чтобы покрыть часть 36 сливного носка, и электронный луч излучался вдоль линии 25 облучения.

В примере 13, как проиллюстрировано на фиг. 18, две концевые части e1 и e2 U-образной линии 25

облучения располагались у боковых стенок 37А и 37В, а U-образная линия 25 облучения, которая выступала к части 36 сливного носка, располагалась так, чтобы покрыть часть 36 сливного носка, и электронный луч излучался вдоль линии 25 облучения.

С другой стороны, в качестве сравнительного примера 1, аналогичное моделирование было выполнено для случая, в котором электронный луч для удержания тепла излучался на область 23 облучения для удержания тепла расплавленного металла 5с в ванне 30, и в котором линейное облучение вдоль линий 25, 25 облучения не выполнялось.

В сравнительном примере 2 было выполнено моделирование способа, раскрытого в патентном документе 1, который был описан выше. Другими словами, как проиллюстрировано на фиг. 38, линия 25 облучения в форме зигзага располагалась на поверхности расплавленного металла 5с в длинных ваннах 31 и 33, и электронный луч излучался вдоль линии 25 облучения.

В сравнительном примере 3 в качестве сравнения с примером 4, как проиллюстрировано на фиг. 40, электронные лучи излучались вдоль V-образной линии 25 облучения, в которой линии не пересекались в вершине. Следует отметить, что количество тепла, передаваемого каждым электронным лучом этих двух электронных пушек, используемых в сравнительном примере 3, составляло 0,125 МВт соответственно.

В сравнительном примере 4 в качестве сравнения с примером 3, как проиллюстрировано на фиг. 42, электронные лучи излучались вдоль трех прямых линий Т-образной линии 25 облучения, в которой эти три прямые линии не пересекались. Линия 25 облучения, проиллюстрированная на фиг. 42, состояла из первой прямолинейной части L1 и второй прямолинейной части L2 вдоль боковой стенки 37D, в которой была предусмотрена часть 36 сливного носка, а также третьей прямолинейной части L3, перпендикулярной к боковой стенке 37D. Первая прямолинейная часть L1, вторая прямолинейная часть L2 и третья прямолинейная часть L3 не контактировали друг с другом. Следует отметить, что количество тепла, передаваемого электронными лучами, излучавшимися вдоль первой прямолинейной части L1 и второй прямолинейной части L2, составляло 0,05 МВт, соответственно, а количество тепла, передаваемого электронным лучом, излучавшимся вдоль третьей прямолинейной части L3 части, составляло 0,15 МВт. Кроме того, скорость сканирования электронных лучей вдоль первой прямолинейной части L1 и второй прямолинейной части L2 составляла 2,9 м/с, а скорость сканирования электронного луча вдоль третьей прямолинейной части L3 составляла 3,6 м/с.

Условия моделирования настоящих примеров показаны в табл. 1.

Таблица 1

	Количество тепла, передаваемого электронным лучом [МВт]	Скорость сканирования электронного луча [м/с]	Распределение теплового потока электронного луча (σ [м])	Форма пути облучения
Пример 1	0,25	1,8	0,02	V-образная форма
Пример 2	0,35	1,7	0,02	Форма дуги окружности
Пример 3	d1:0,09 d2:0,15 d3:0,09	2,94	0,013	T-образная форма
Пример 4	0,125	1,8	0,02	V-образная форма
Пример 5	0,125	1,8	0,02	V-образная форма
Пример 6	0,25	1,8	0,02	V-образная форма
Пример 7	0,25	1,8	0,02	V-образная форма
Пример 8	0,25	1,6	0,02	Прямолинейная форма
Пример 9	0,25	1,6	0,02	Прямолинейная форма
Пример 10	0,25	2,0	0,02	Прямолинейная форма
Пример 11	0,30	1,8	0,02	V-образная форма
Пример 12	0,25	1,8	0,02	Форма дуги окружности
Пример 13	0,30	1,8	0,02	U-образная форма
Сравнительный	—	—	—	(Нет облучения)

пример 1				
Сравнительный пример 2	0,25	1,9	0,02	Зигзаг
Сравнительный пример 3	0,125	1,8	0,02	V-образная форма
Сравнительный пример 4	L1:0,05 L2:0,05 L3:0,15	L1:2,9 L2:2,9 L3:3,6	0,02	T-образная форма

Для каждого моделирования рассчитывался переходный процесс, поскольку поток и температура расплавленного металла 5 с изменяются в каждый момент времени в зависимости от сканирования электронного луча. Моделирование выполнялось на основе допущений о том, что ВНП представляют собой нитрид титана, размер зерна нитрида титана составляет 3,5 мм, и плотность нитрида титана на 10% меньше плотности расплавленного металла 5с.

Результаты моделирования для примеров 1-13 и сравнительных примеров 1-4 описываются ниже. Фиг. 20-24, 26, 28 и 30-36 показывают результаты моделирования для примеров 1-13 соответственно, а фиг. 37, 39, 41 и 43 показывают результаты моделирования для сравнительных примеров 1-4 соответственно.

Фиг. 20, 22-24, 26, 28 и 30-36 и фиг. 37, 39, 41 и 43 показывают температурное распределение на поверхности расплавленного металла 5с в ванне и поведение ВНП, которые текут на поверхности расплавленного металла 5с, в то время, когда положение облучения электронным лучом для линейного облучения, который излучается вдоль линии 25 облучения, находится в репрезентативном положении. На диаграммах температурного распределения с левой стороны вышеупомянутых фиг. 20, 22-24, 26, 28 и 30-36 и 37, 39, 41 и 43 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 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. 20, 22-24, 26, 28 и 30-36 и 37, 39, 41 и 43 линии потока, имеющие нелинейную форму, указывают траекторию потока ВНП.

Пример 1.

В примере 1, как проиллюстрировано на фиг. 20, область высокой температуры была сформирована вдоль линии 25 облучения, блокирующей часть 36 сливного носка, и был сформирован поток 61 расплавленного металла от линии 25 облучения в сторону, противоположную части 36 сливного носка. Следовательно, как проиллюстрировано на фиг. 20, все ВНП, которые текли от линий подачи к части 36 сливного носка, перемещались вместе с потоком 61 расплавленного металла к боковым стенкам 37А и 37В, и не было никакой линии потока, которая проходила бы через часть 36 сливного носка и дальше в литейную форму 40. Таким образом, было найдено, что ВНП в ванне 30 отталкивались обратно и не вытекали из части 36 сливного носка в литейную форму 40. Фиг. 21 показывает направление и силу потока расплавленного металла 5с в соответствующих местах около линии 25 облучения в примере 1. Основываясь на фиг. 21, также было найдено, что сильный поток расплавленного металла 5с с большой скоростью формировался от линии 25 облучения в направлении, противоположном части 36 сливного носка, и к боковым стенкам 37А и 37В.

Пример 2.

Как проиллюстрировано на фиг. 22, в примере 2, аналогично примеру 1, также формировалась область высокой температуры вдоль линии 25 облучения, блокирующей часть 36 сливного носка, и был сформирован поток 61 расплавленного металла от линии 25 облучения в сторону, противоположную части 36 сливного носка. Следовательно, все ВНП, которые текли от линий подачи к части 36 сливного носка, перемещались вместе с потоком 61 расплавленного металла к боковым стенкам 37А и 37В, и не было никакой линии потока, которая проходила бы через часть 36 сливного носка и дальше в литейную форму 40. Таким образом, было найдено, что ВНП в ванне 30 отталкивались обратно и не вытекали из части 36 сливного носка в литейную форму 40.

Пример 3.

В примере 3, аналогично примерам 1 и 2, как проиллюстрировано на фиг. 23, также формировалась область высокой температуры вдоль линии 25 облучения, блокирующей часть 36 сливного носка, и был сформирован поток 61 расплавленного металла от линии 25 облучения в сторону, противоположную части 36 сливного носка. Следовательно, все ВНП, которые текли от линий подачи к части 36 сливного носка, перемещались вместе с потоком 61 расплавленного металла к боковым стенкам 37А и 37В, и не было никакой линии потока, которая проходила бы через часть 36 сливного носка и дальше в литейную форму 40. Таким образом, было найдено, что ВНП в ванне 30 отталкивались обратно и не вытекали из части 36 сливного носка в литейную форму 40.

Примеры 4 и 5.

В примерах 4 и 5 электронные лучи излучались вдоль линии 25 облучения с использованием двух электронных пушек. В примере 4 две электронные пушки излучали электронные лучи вдоль линии 25 облучения так, чтобы эти электронные лучи находились в вершине V-образной формы в один и тот же

момент времени. Кроме того, в примере 5 две электронные пушки излучали электронные лучи вдоль линии 25 облучения так, чтобы в тот момент, когда электронный луч от одной из электронных пушек находился в вершине V-образной формы, электронный луч от другой электронной пушки находился в центральной части линии облучения. Фиг. 24 показывает результат моделирования примера 4, а фиг. 26 показывает результат моделирования примера 5.

Как в случае примера 4, так и в случае примера 5, как проиллюстрировано на фиг. 24 и 26, аналогично примерам 1-3, область высокой температуры была сформирована вдоль линии 25 облучения, блокирующей часть 36 сливного носка, и был сформирован поток 61 расплавленного металла от линии 25 облучения в сторону, противоположную части 36 сливного носка. Следовательно, все ВНП, которые текли от линий подачи к части 36 сливного носка, перемещались вместе с потоком 61 расплавленного металла к боковым стенкам 37А и 37В, и не было никакой линии потока, которая проходила бы через часть 36 сливного носка и дальше в литейную форму 40. Таким образом, было найдено, что ВНП в ванне 30 отталкивались обратно и не вытекали из части 36 сливного носка в литейную форму 40.

Примеры 6 и 7.

В примерах 6 и 7, хотя V-образная линия 25 облучения была расположена аналогично примеру 1, V-образная форма отличалась от примера 1. Однако в примерах 6 и 7, аналогично примерам 1-5, как проиллюстрировано на фиг. 28 и 30, также формировалась область высокой температуры вдоль линии 25 облучения, блокирующей часть 36 сливного носка, и был сформирован поток 61 расплавленного металла от линии 25 облучения в сторону, противоположную части 36 сливного носка. Следовательно, все ВНП, которые текли от линий подачи к части 36 сливного носка, перемещались вместе с потоком 61 расплавленного металла к боковым стенкам 37А и 37В, и не было никакой линии потока, которая проходила бы через часть 36 сливного носка и дальше в литейную форму 40. Таким образом, было найдено, что ВНП в ванне 30 отталкивались обратно и не вытекали из части 36 сливного носка в литейную форму 40.

Примеры 8-10.

В примерах 8-10 линия 25 облучения имела форму прямой линии. Фиг. 31 показывает результат моделирования примера 8, фиг. 32 показывает результат моделирования примера 9, и фиг. 33 показывает результат моделирования примера 10. Способ расположения прямолинейной линии 25 облучения или используемая ванна различалась между примерами 8-10. Однако в примерах 8-10, аналогично примерам 1-7, как проиллюстрировано на фиг. 31-33, также формировалась область высокой температуры вдоль линии 25 облучения, блокирующей часть 36 сливного носка, и был сформирован поток 61 расплавленного металла от линии 25 облучения в сторону, противоположную части 36 сливного носка. Следовательно, все ВНП, которые текли от линий подачи к части 36 сливного носка, перемещались вместе с потоком 61 расплавленного металла к боковым стенкам 37А и 37В, и не было никакой линии потока, которая проходила бы через часть 36 сливного носка и дальше в литейную форму 40. Таким образом, было найдено, что ВНП в ванне 30 отталкивались обратно и не вытекали из части 36 сливного носка в литейную форму 40. Следует отметить, что на основе фиг. 31-33 было найдено, что существуют положения застоя, в которых ВНП застаиваются около концевых частей линии 25 облучения. После этого эти ВНП увлекаются потоком расплавленного металла в ванне и циркулируют через внутреннюю часть ванны. Однако даже если эти ВНП еще раз достигают линии 25 облучения, после того, как они застаиваются в тех же самых положениях, они циркулируют через внутреннюю часть ванны еще раз. Эти ВНП растворяются во время циркуляции через внутреннюю часть ванны. Альтернативно, электронный луч для ускорения растворения ВНП может также излучаться в положениях застоя.

Примеры 11-13.

В примерах 11-13 линия 25 облучения имела выпуклую форму, выступающую в направлении части 36 сливного носка. Фиг. 34 показывает результат моделирования примера 11, фиг. 35 показывает результат моделирования примера 12, и фиг. 36 показывает результат моделирования примера 13. Выпуклая форма линии 25 облучения различалась между примерами 11-13. Однако в примерах 11-13, аналогично примерам 1-10, как проиллюстрировано на фиг. 34-36, также формировалась область высокой температуры вдоль линии 25 облучения, блокирующей часть 36 сливного носка, и был сформирован поток 61 расплавленного металла от линии 25 облучения в сторону, противоположную части 36 сливного носка. Следовательно, все ВНП, которые текли от линий подачи к части 36 сливного носка, перемещались вместе с потоком 61 расплавленного металла в направлении, противоположном части 36 сливного носка, и не было никакой линии потока, которая проходила бы через часть 36 сливного носка и дальше в литейную форму 40. Таким образом, было найдено, что ВНП в ванне 30 отталкивались обратно и не вытекали из части 36 сливного носка в литейную форму 40.

Следует отметить, что на основе фиг. 34-36 было найдено, что аналогично примерам 8-10, между линией 25 облучения и линиями 26 подачи существуют положения застоя, в которых ВНП застаиваются в центре в направлении ширины ванны 30. После этого эти ВНП увлекаются потоком расплавленного металла в ванне и циркулируют через внутреннюю часть ванны. Однако даже если эти ВНП еще раз достигают линии 25 облучения, после того как они застаиваются в тех же самых положениях, они циркулируют через внутреннюю часть ванны еще раз. Эти ВНП растворяются во время циркуляции через внутреннюю часть ванны. Альтернативно, электронный луч для ускорения растворения ВНП может также

излучаться в положении застоя. Кроме того, на основе результатов моделирования примеров 8-13 было найдено, что положениями застоя, в которых ВНП склонны застаиваться, можно управлять путем изменения расположения и формы линий 25 облучения.

Следует отметить, что в примерах 1-13 соответствующие электронные лучи излучались так, чтобы линия 25 облучения блокировала часть 36 сливного носка. Однако можно соответствующим образом изменить расположение линии 25 облучения, при условии, что количество передаваемого тепла, скорость сканирования и распределение теплового потока электронного луча установлены подходящим образом, концевые части e1 и e2 линии 25 облучения расположены на боковой стенке 37 ванны 30, и электронный луч излучается так, чтобы блокировать путь потока между областью S2, расположенной выше по потоку, включая линии 26 подачи и часть 36 сливного носка. В таком случае очевидно, что поведение ВНП будет аналогично поведению, иллюстрируемому в вышеупомянутых примерах 1-13.

Сравнительный пример 1.

В сравнительном примере 1 электронный луч не излучался вдоль линии 25 облучения. Следовательно, как проиллюстрировано на фиг. 37, ВНП свободно вытекали из областей высокой температуры линий 26 подачи к центральной части ванны 30, увлекались потоком 60 расплавленного металла в центральной части ванны 30, и большое количество ВНП проходило через часть 36 сливного носка и вытекало в литейную форму.

Сравнительный пример 2.

Сравнительный пример 2 является результатом моделирования способа, описанного в вышеупомянутом патентном документе 1. Другими словами, как проиллюстрировано на фиг. 38, электронный луч осуществлял сканирование зигзагообразным образом в направлении, противоположном направлению потока расплавленного металла к литейной форме, на поверхности расплавленного металла 5с в ваннах 31 и 33. Как проиллюстрировано на фиг. 38, линия 25 облучения имела зигзагообразную форму вдоль продольного направления ванн 31 и 33. Сырье 5 вводилось из области 28 подачи сырья с дальней стороны в продольном направлении ванны (т.е. со стороны, противоположной части сливного носка). Для удобства плавильная ванна 31 и ванна 33 очистки моделировались как одна ванна.

В сравнительном примере 2, как проиллюстрировано на фиг. 39, поскольку ВНП перемещались из области 28 подачи сырья к части 36 сливного носка, ВНП постепенно собирались в части 36 сливного носка и вытекали в литейную форму 40. Хотя в сравнительном примере 2 моделирование было выполнено для случая, в котором использовалась длинная ванна, ВНП пересекали линию 25 облучения, и можно легко предположить, что ВНП также вытекали бы в литейную форму в случае использования короткой ванны.

Сравнительный пример 3.

В сравнительном примере 3, как проиллюстрировано на фиг. 40, поскольку первая прямолинейная часть и вторая прямолинейная часть не пересекались, существовало место, в котором электронный луч не излучался около центральной линии ванны 30. Следовательно, как проиллюстрировано на фиг. 41, ВНП проходили через это необлучаемое место и вытекали через часть 36 сливного носка в литейную форму 40.

Сравнительный пример 4.

В сравнительном примере 4, как проиллюстрировано на фиг. 42, поскольку первая прямолинейная часть L1, вторая прямолинейная часть L2 и третья прямолинейная часть L3 не пересекались, существовало место, в котором электронный луч не излучался около входного отверстия части 36 сливного носка ванны 30. Следовательно, как проиллюстрировано на фиг. 43, ВНП проходили через это необлучаемое место и вытекали через часть 36 сливного носка в литейную форму 40.

Результаты моделирования примеров 1-13 и сравнительных примеров 1-4 были описаны выше. На основании этих результатов моделирования можно сказать, что было подтверждено, что при концентрированном излучении электронного пучка вдоль линии 25 облучения, как проиллюстрировано в примерах 1-13, поток расплавленного металла формируется в направлении, противоположном части 36 сливного носка, от линии 25 облучения, и можно предотвратить прохождение ВНП через часть 36 сливного носка и их вытекание в литейную форму.

(2) Пример поведения потока расплавленного металла.

В настоящем примере было определено поведение потока расплавленного металла относительно V-образной линии 25 облучения согласно первому варианту осуществления и линии 25 облучения согласно второму варианту осуществления. В этом случае сравнивались пример 1 (V-образная линия 25 облучения) и пример 3 (Т-образная линия 25 облучения) из вышеупомянутых примеров. Для каждого моделирования рассчитывался переходный процесс, поскольку поток и температура расплавленного металла изменяются в каждый момент времени в зависимости от сканирования электронного луча. В настоящем примере электронные пушки, используемые в примерах 1 и 3, были установлены как показано ниже в табл. 2. Что касается примера 3, использовались три электронных пушки, и Т-образная линия 25 облучения формировалась так, чтобы отношение $(h2/b2)$ между длиной линии облучения (b2) и высотой линии облучения (h2) было равно 2/5.

Таблица 2

	Количество тепла, передаваемого электронным лучом	Скорость сканирования электронного луча	Распределение теплового потока электронного луча	Форма пути облучения
	лучом [МВт]	[м/с]	(σ[м])	
Пример 1	0,25	3,7	0,02	V-образная форма
Пример 3	d1:0,05 d2:0,15 d3:0,05	d1:2,9 d2:3,6 d3:2,9	0,02	T-образная форма

Фиг. 44 показывает распределение скорости потока поверхности расплавленного металла и максимальную скорость потока поверхности расплавленного металла, а также показывает отношение скорости суммарного потока расплавленного металла к боковой стенке 37А через линейный сегмент АВ от окрестности части 36 сливного носка. Следует отметить, что отношение скорости суммарного потока представляет собой отношение значения, представленного произведением средней скорости потока расплавленного металла на длину линейного сегмента АВ.

При сравнении распределения скорости потока поверхности расплавленного металла для примеров 1 и 3 было найдено, что хотя скорость потока расплавленного металла к боковой стенке 37А от окрестности части 36 сливного носка является высокой и в примере 1, и в примере 3, как проиллюстрировано на фиг. 44, скорость потока является более высокой в примере 3 по сравнению с примером 1. Максимальная скорость потока в примере 3 была равна 0,13 м/с, в то время как в примере 1 максимальная скорость потока была равна 0,11 м/с. Кроме того, отношение скорости суммарного потока расплавленного металла, который проходил через линейный сегмент АВ, параллельный боковой стенке 37 ванны, который показан в распределении скорости потока поверхности расплавленного металла на фиг. 44, также имело более высокое значение в примере 3 по сравнению с примером 1.

Таким образом, было найдено, что по сравнению с примером 1, в котором поверхностный поток расплавленного металла к одной боковой стенке образовался в результате возникновения единственной конвекции Марангони, поверхностный поток расплавленного металла с более высокой скоростью был сформирован в примере 3, в котором поверхностный поток был сформирован в результате возникновения двух конвекций Марангони.

(3) Пример электронного луча для ускорения растворения ВНП.

Затем для вышеупомянутого примера 8 было выполнено моделирование случая, в котором использовался электронный луч для ускорения растворения ВНП. В настоящем моделировании также рассматривался переходный процесс, поскольку поток и температура расплавленного металла 5с изменяются в каждый момент времени в зависимости от сканирования электронного луча. Моделирование выполнялось на основе допущений о том, что ВНП представляют собой нитрид титана, размер зерна нитрида титана составляет 5 мм, и плотность нитрида титана на 10% меньше плотности расплавленного металла 5с.

В настоящем примере сначала с использованием одной электронной пушки для предотвращения истечения ВНП, как проиллюстрировано на фиг. 12, линия 25 облучения, имеющая прямолинейную форму, две концевые части которой e1 и e2 были расположены на боковой стенке 37D, в которой предусмотрена часть 36 сливного носка, была расположена так, чтобы блокировать часть 36 сливного носка. Количество тепла, передаваемого электронным лучом для предотвращения истечения ВНП, было установлено равным 0,25 МВт, скорость сканирования была установлена равной 1,6 м/с, а среднеквадратичное отклонение распределения теплового потока составляло 0,02 м. Кроме того, электронные лучи излучались на положения застоя потока расплавленного металла с использованием двух электронных пушек для ускорения растворения ВНП в ванне 30, которые отличались от электронной пушки для предотвращения истечения ВНП. При этом период времени излучения электронного луча каждой электронной пушкой для предотвращения истечения ВНП был установлен равным 1 с, а положение излучения соответствующего электронного луча было зафиксировано в положении застоя потока расплавленного металла. Количество тепла, передаваемого каждым электронным лучом для ускорения растворения ВНП, было установлено равным 0,25 МВт, а среднеквадратичное отклонение распределения теплового потока составляло 0,02 м.

Результат моделирования показан на фиг. 45. Фиг. 45 показывает распределение температур и поведение ВНП для поверхности расплавленного металла в ванне 30 для четырех интервалов времени от момента появления ВНП в расплавленном металле 5с. На диаграммах температурного распределения с левой стороны фиг. 45 область с высокой температурой около части 36 сливного носка, отмеченная кружком, указывает положение облучения электронным лучом относительно линии 25 облучения в данный момент времени, а отмеченные кружком области линий 26 подачи с высокой температурой около концов части 36 сливного носка указывают положения электронных лучей для ускорения растворения ВНП в соответствующий момент времени. Кроме того, две верхних и нижних лентообразных части с высокой температурой означают две линии 26 подачи, а низкотемпературная часть около внутренней поверхности ванны означает часть, в которой сформировался гарнисаж 7. В дополнение к этому справа на фиг. 45 показаны положения ВНП для соответствующих интервалов времени.

Как проиллюстрировано на фиг. 45, ВНП, которые находились около линий 26 подачи через 0,8 с после появления ВНП в расплавленном металле, перемещались через внутреннюю часть ванны 30 с течением времени. Через 27,7 с после появления ВНП в расплавленном металле множество ВНП находилось в положениях (положениях застоя потока расплавленного металла), обозначенных кружками на диаграммах, показывающих поведение ВНП. Через 27,8 с после появления ВНП в расплавленном металле электронные лучи излучались в течение 1 с на эти образовавшиеся группы ВНП с использованием двух электронных пушек для ускорения растворения ВНП. В результате ВНП растворялись через 28,8 с после появления ВНП в расплавленном металле. Таким образом, было показано, что путем определения мест застоя в потоке расплавленного металла и излучения электронных лучей на соответствующие положения застоя в потоке расплавленного металла возможно уверенно растворять ВНП на ранней стадии.

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.

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.

Кроме того, форма ванны, к которой применяется способ производства металлического слитка в соответствии с настоящим вариантом осуществления, не ограничивается прямоугольной формой. Например, способ производства металлического слитка в соответствии с настоящим вариантом осуществления также применим к ванне, имеющей форму, отличающуюся от прямоугольной, в которой боковые стенки ванны имеют криволинейную форму, такую как эллиптическая или овальная.

Список ссылочных обозначений.

- 1 - Электронно-лучевая плавильная печь (ЭЛ-печь),
- 5 - металлическое сырье,
- 5с - расплавленный металл,
- 7 - гарнисаж,
- 8 - ВНП,
- 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 - линия облучения,
- 26 - линия подачи,
- 30 - ванна очистки,
- 36 - часть сливного носка,
- 37А, 37В, 37С - боковая стенка, в которой не предусмотрена часть сливного носка,
- 37D - первая боковая стенка,
- 40 - литейная форма,
- 50 - слиток,
- 61, 62, 63 - поток расплавленного металла.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ производства металлического слитка, содержащего в сумме 50 мас.% или больше по меньшей мере одного металлического элемента, выбираемого из группы, состоящей из титана, тантала, ниобия, ванадия, молибдена и циркония, путем 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

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;

линия облучения располагается между предшествующей по течению областью, в которой металлическое сырье подается на поверхность расплавленного металла, и первой боковой стенкой, так, что первый электронный луч, который излучается на поверхность расплавленного металла вдоль линии облучения, блокирует часть сливного носка от области, в которой металлическое сырье подается на поверхность расплавленного металла, причем две концевые части линии облучения располагаются в непосредственной близости от боковой стенки ванны;

причем две концевые части линии облучения располагаются у внутренней поверхности боковой стенки или в области, отстоящей от внутренней поверхности боковой стенки на 5 мм или меньше; и

излучением первого электронного луча вдоль линии облучения увеличивают температуру поверхности (T2) расплавленного металла на линии облучения выше средней температуры поверхности (T0) всей поверхности расплавленного металла в ванне и образуют в наружном слое расплавленного металла обратный поток расплавленного металла, направленный в противоположную от первой боковой стенки сторону, от линии облучения.

2. Способ производства металлического слитка по п.1, в котором две концевые части линии облучения располагаются в непосредственной близости от первой боковой стенки.

3. Способ производства металлического слитка по п.1 или 2, в котором поток расплавленного металла является потоком от линии облучения, который доходит до боковой стенки из боковых стенок, которая проходит, по существу, перпендикулярно в обратную сторону от первой боковой стенки из множества боковых стенок ванны.

4. Способ производства металлического слитка по любому из пп.1-3, в котором линия облучения имеет выпуклую форму, которая выступает от части сливного носка в обратную сторону.

5. Способ производства металлического слитка по п.4, в котором линия облучения имеет V-образную форму или форму дуги окружности, имеющей диаметр, который равен или больше чем ширина выходного отверстия части сливного носка.

6. Способ производства металлического слитка по любому из пп.1-3, в котором линия облучения имеет Т-образную форму, которая включает в себя первую прямолинейную часть вдоль первой боковой стенки между этими двумя концевыми частями и вторую прямолинейную часть, которая проходит, по существу, перпендикулярно к первой прямолинейной части в обратную сторону от первой боковой стенки.

7. Способ производства металлического слитка по п.1 или 2, в котором линия облучения имеет форму прямой линии вдоль первой боковой стенки между этими двумя концевыми частями.

8. Способ производства металлического слитка по п.1 или 2, в котором поток расплавленного металла

является потоком от линии облучения в обратную сторону от первой боковой стенки, и

является потоком к центру от пары боковых стенок, которые обращены друг к другу и которые проходят, по существу, перпендикулярно в обратную сторону от первой боковой стенки из множества боковых стенок.

9. Способ производства металлического слитка по п.8, в котором линия облучения имеет выпуклую форму, выступающую от обратной стороны к части сливного носка.

10. Способ производства металлического слитка по п.8, в котором линия облучения имеет U-образную форму, содержащую

первую прямолинейную часть вдоль первой боковой стенки между двумя концевыми частями и

вторую прямолинейную часть и третью прямолинейную часть от двух концевых частей первой прямолинейной части, которые проходят, соответственно, вдоль пары боковых стенок, которые обращены друг к другу и которые проходят, по существу, перпендикулярно в обратную сторону от первой боковой стенки из множества боковых стенок.

11. Способ производства металлического слитка по любому из пп.8-10, в котором второй электронный луч излучается на положение застоя потока расплавленного металла, который возникает благодаря излучению первого электронного луча вдоль линии облучения.

12. Способ производства металлического слитка по любому из пп.1-11, в котором множество первых электронных лучей излучаются вдоль линии облучения с использованием множества электронных пушек так, чтобы пути первых электронных лучей пересекались или перекрывались на поверхности расплавленного металла.

13. Способ производства металлического слитка по любому из пп.1-12, в котором

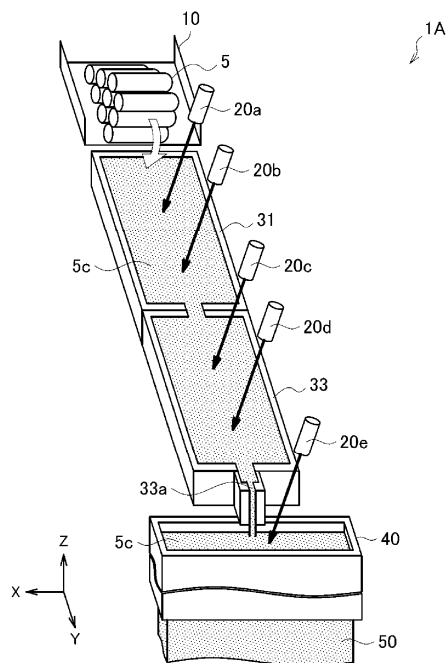
ванна содержит одну только ванну очистки; и

металлическое сырье плавится в части подачи сырья, расплавленное металлическое сырье капает из части подачи сырья в ванну, и металлическое сырье в расплавленном металле очищается внутри ванны очистки.

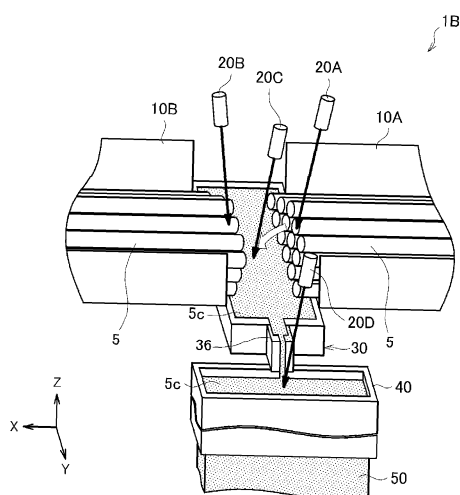
14. Способ производства металлического слитка по любому из пп.1-12, в котором ванна представляет собой многоступенчатую ванну, в которой множество разделенных ванн объединены и расположены последовательно; и

в каждой из разделенных ванн первый электронный луч излучается на поверхность расплавленного металла вдоль линии облучения, которая расположена таким образом, что линия облучения блокирует часть сливного носка в области ниже по течению, а две концевые части линии облучения располагаются в непосредственной близости от боковой стенки разделенной ванны.

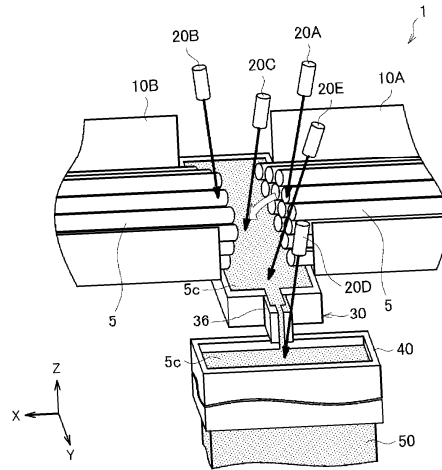
15. Способ производства металлического слитка по любому из пп.1-14, в котором металлическое сырье содержит 50 мас.% или больше элементарного титана.



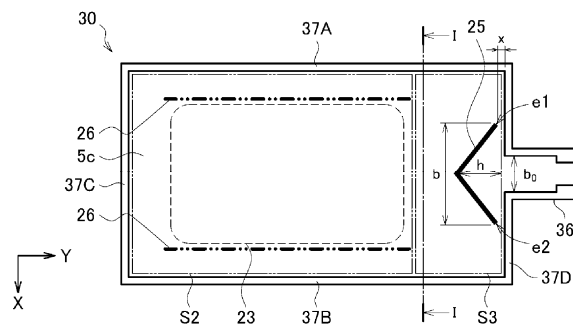
Фиг. 1



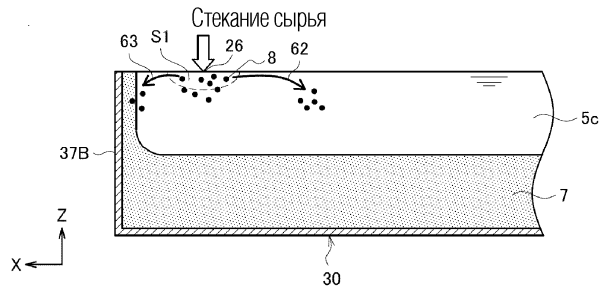
Фиг. 2



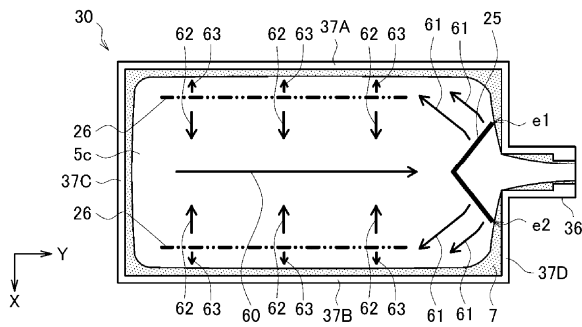
Фиг. 3



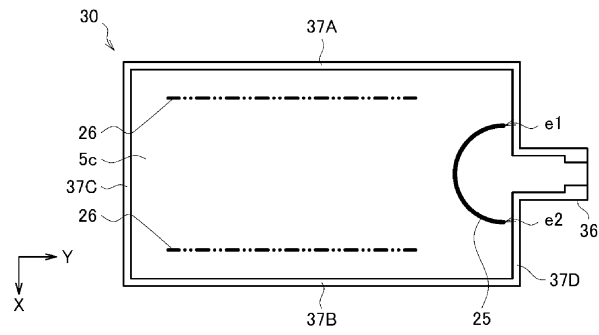
Фиг. 4



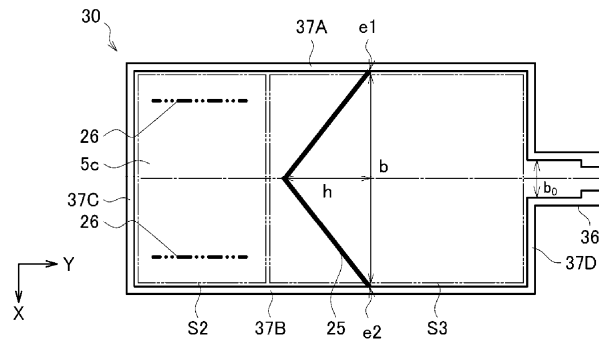
Фиг. 5



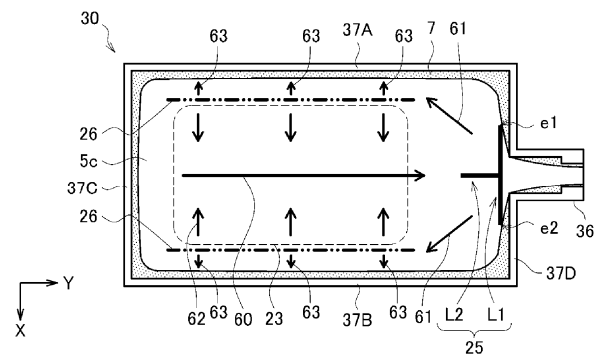
Фиг. 6



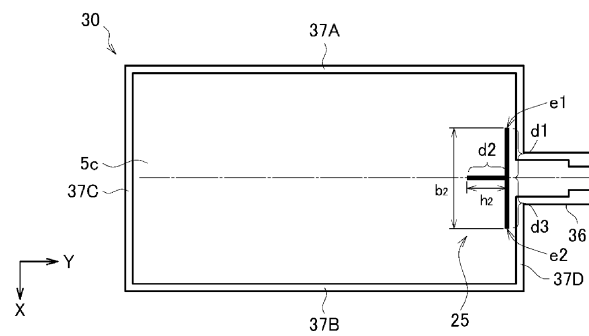
Фиг. 7



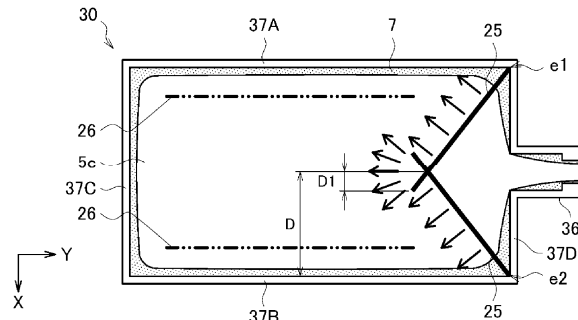
Фиг. 8



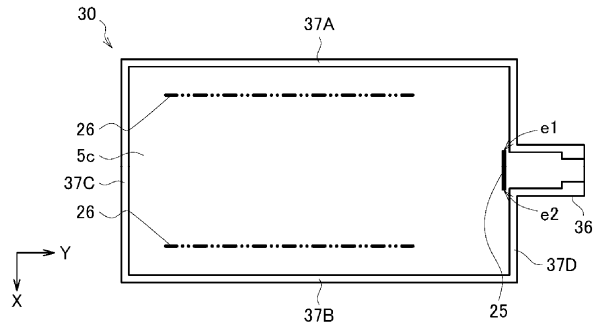
Фиг. 9



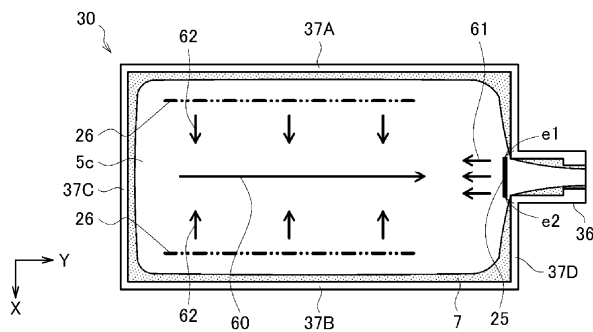
Фиг. 10



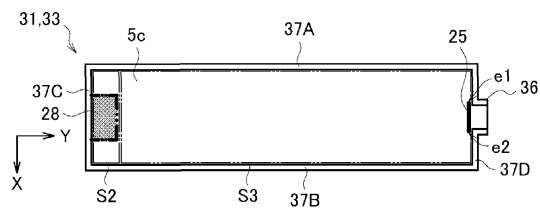
Фиг. 11



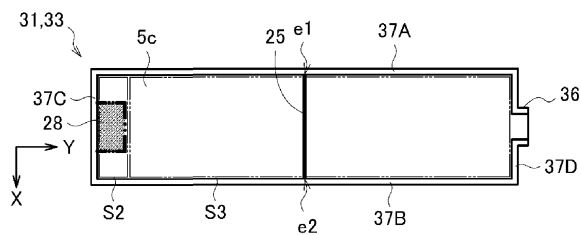
Фиг. 12



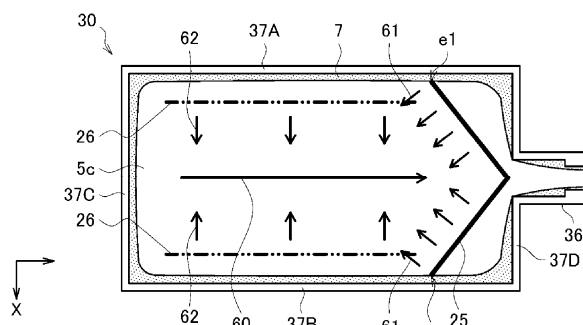
Фиг. 13



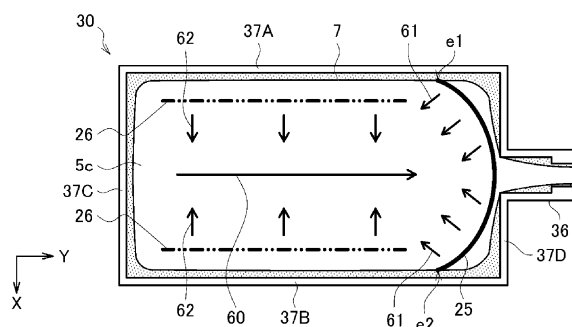
Фиг. 14



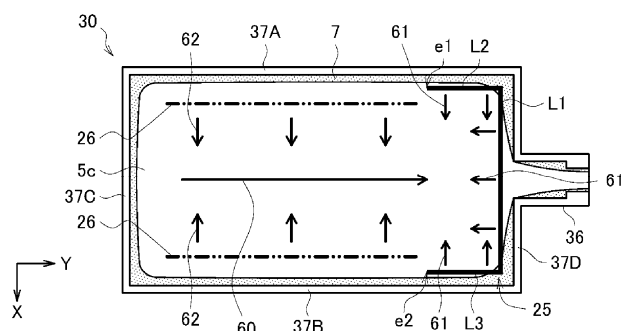
Фиг. 15



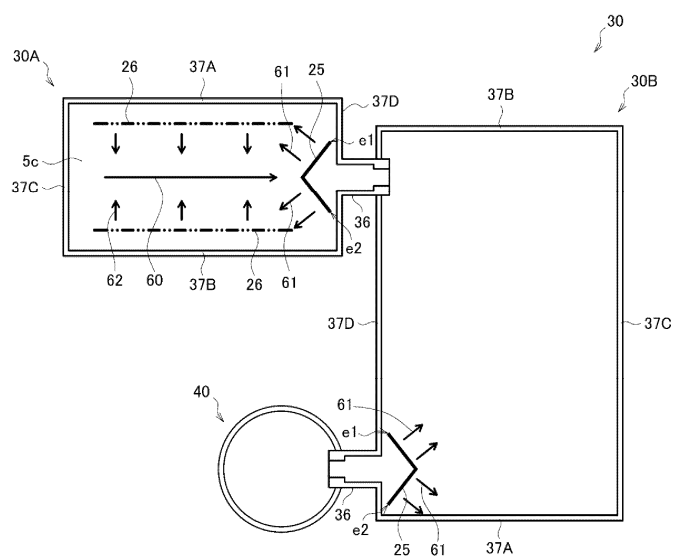
ФИГ. 16



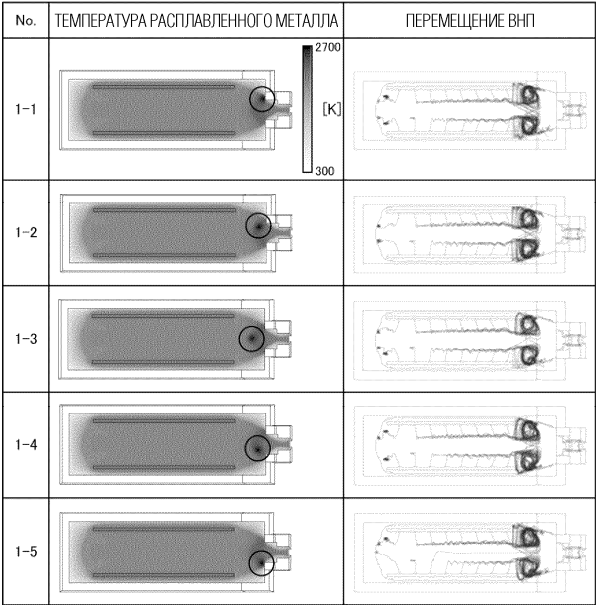
Фиг. 17



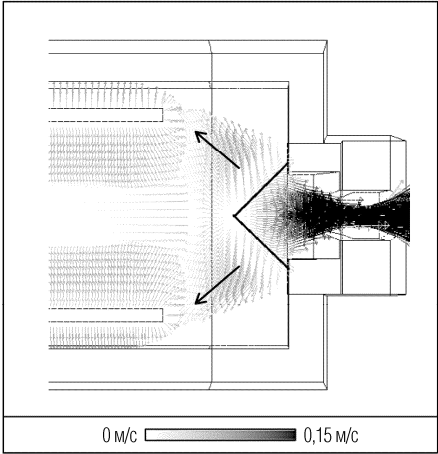
Фиг. 18



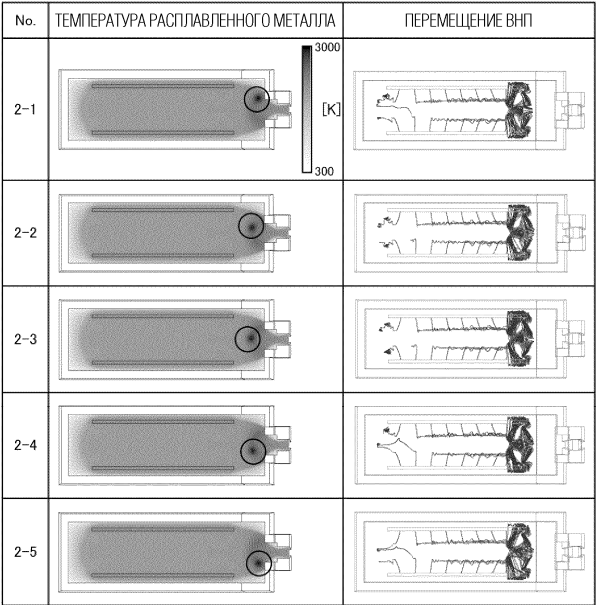
ФИГ. 19



Фиг. 20

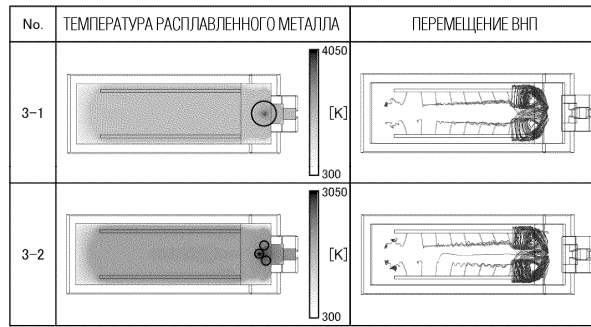


Фиг. 21

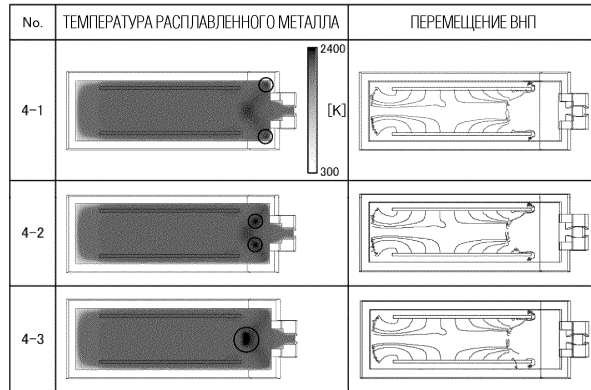


Фиг. 22

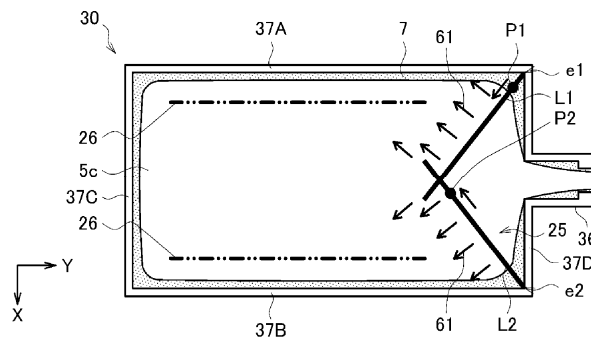
039285



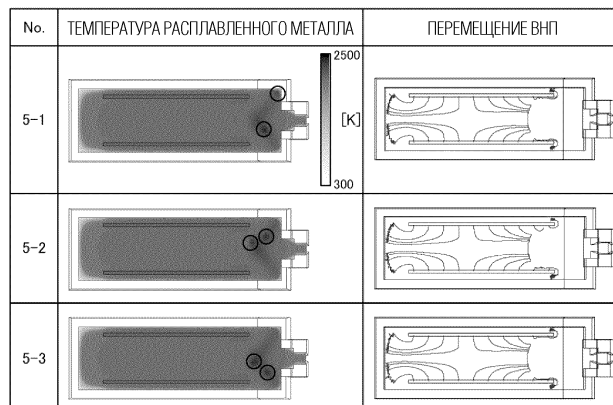
ФИГ. 23



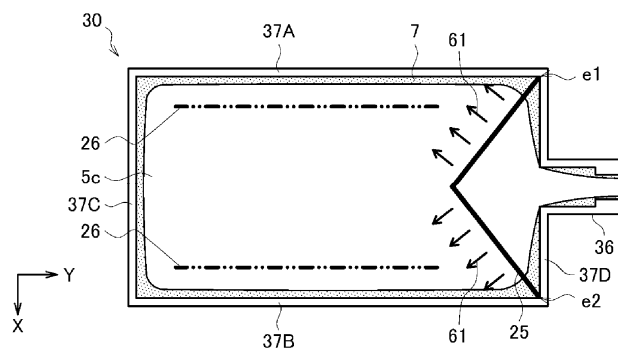
Фиг. 24



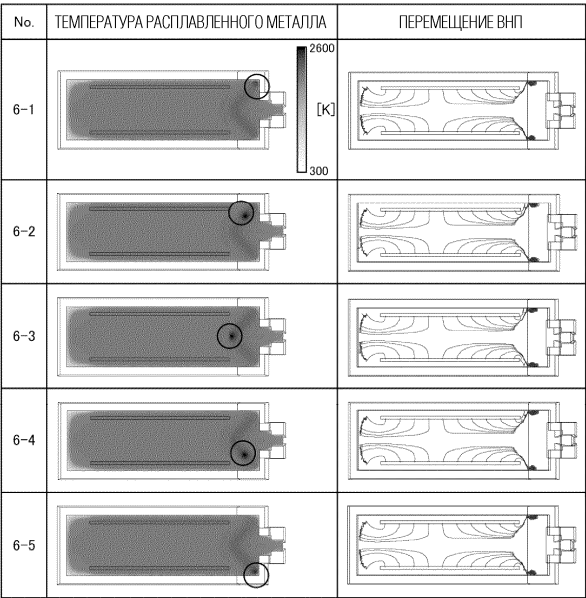
ФИГ. 25



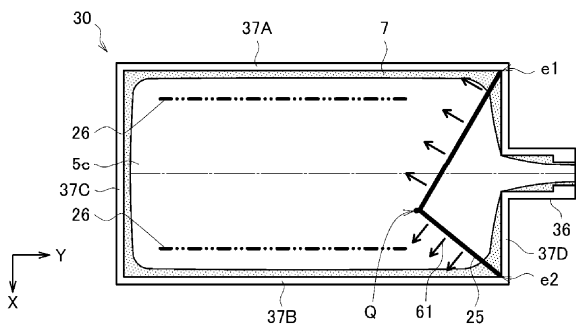
ФИГ. 26



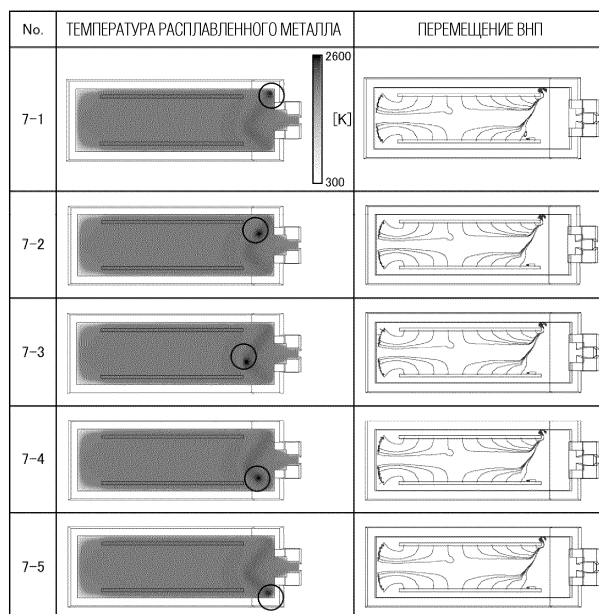
Фиг. 27



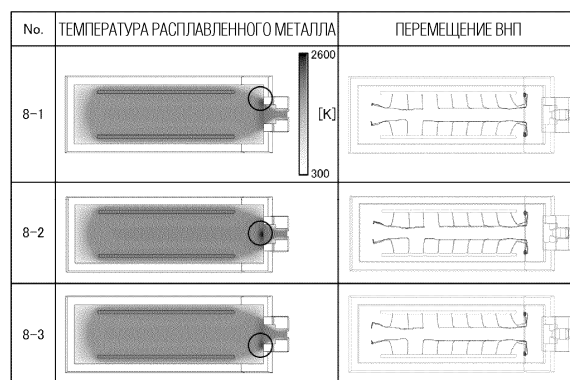
Фиг. 28



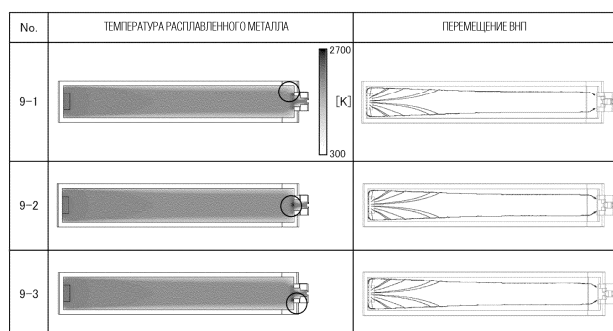
Фиг. 29



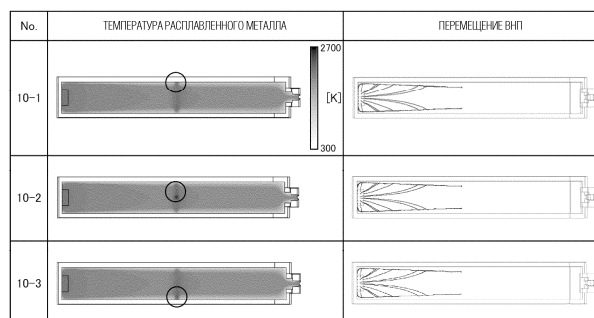
Фиг. 30



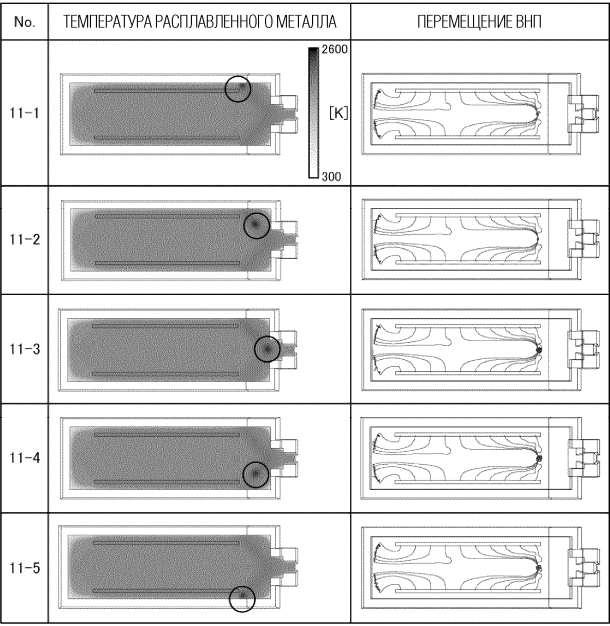
Фиг. 31



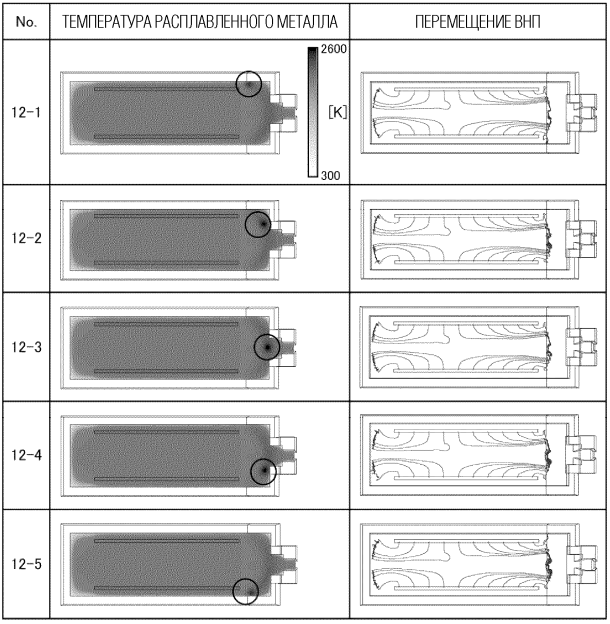
Фиг. 32



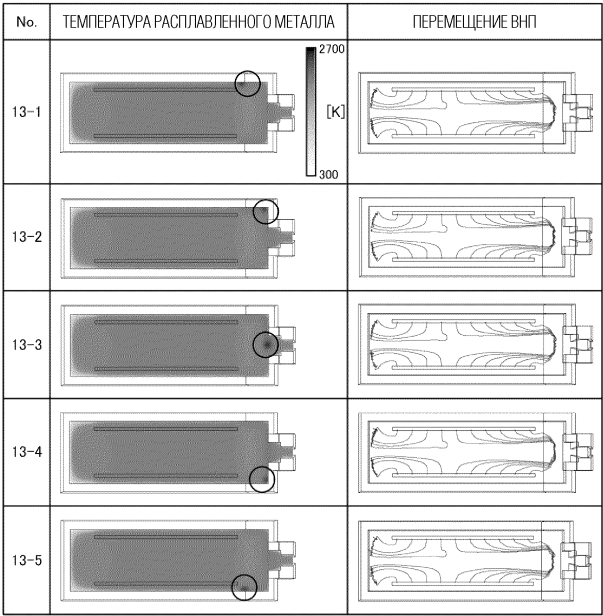
Фиг. 33



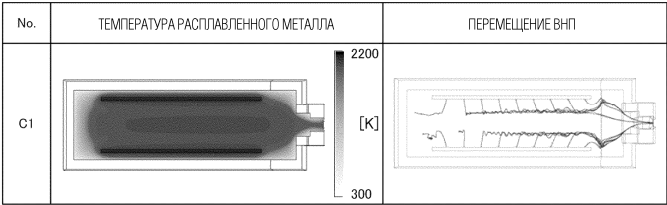
Фиг. 34



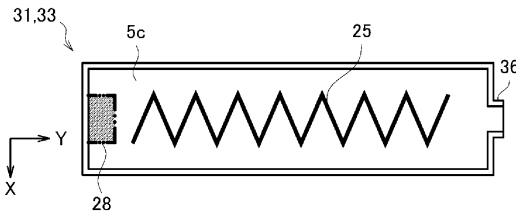
Фиг. 35



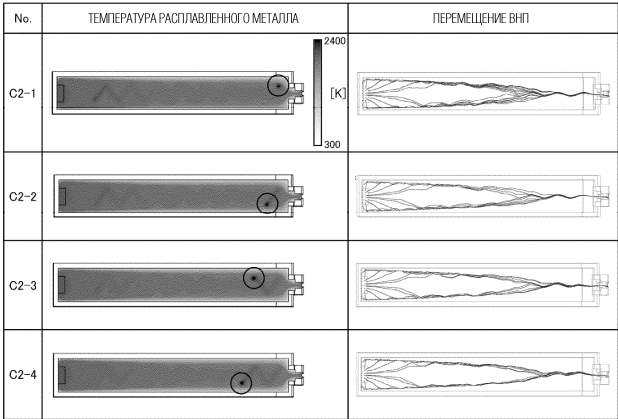
Фиг. 36



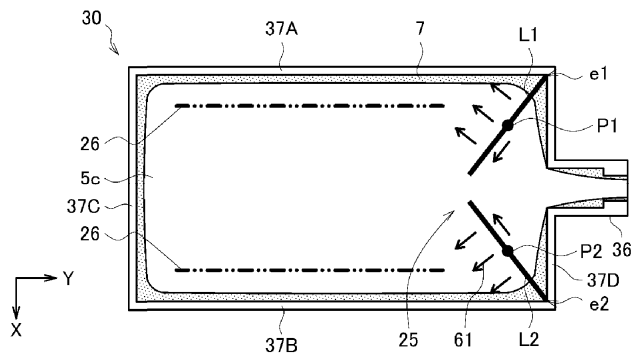
Фиг. 37



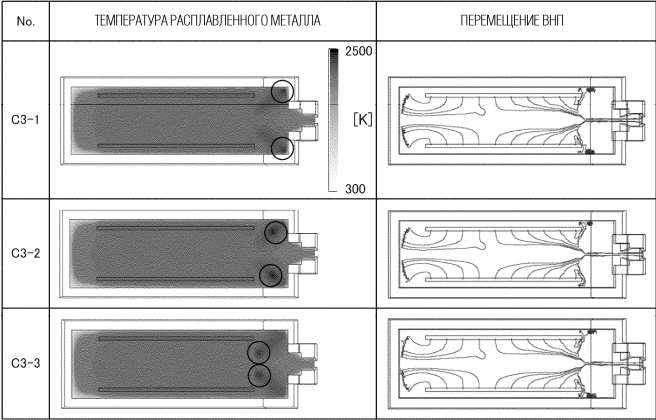
Фиг. 38



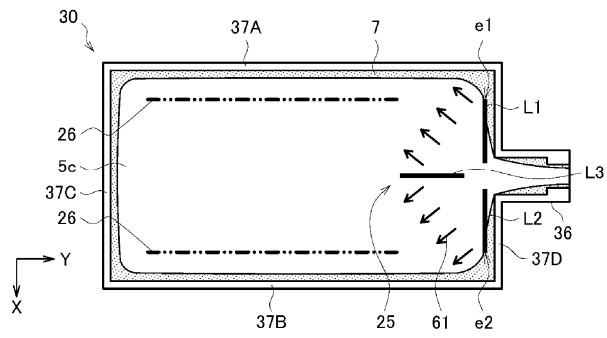
Фиг. 39



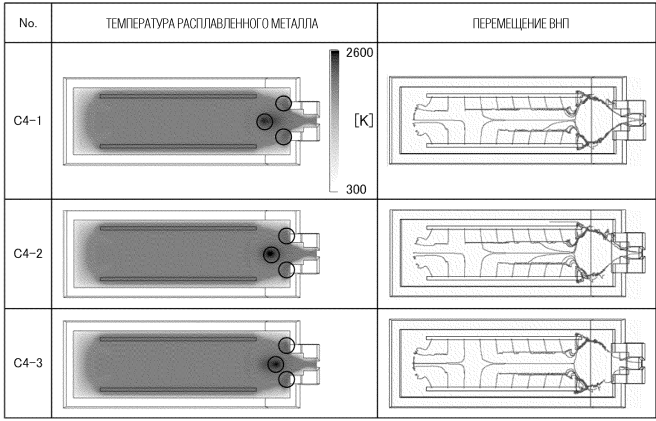
Фиг. 40



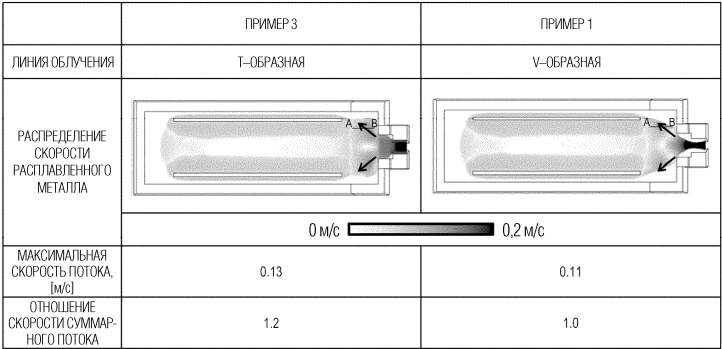
Фиг. 41



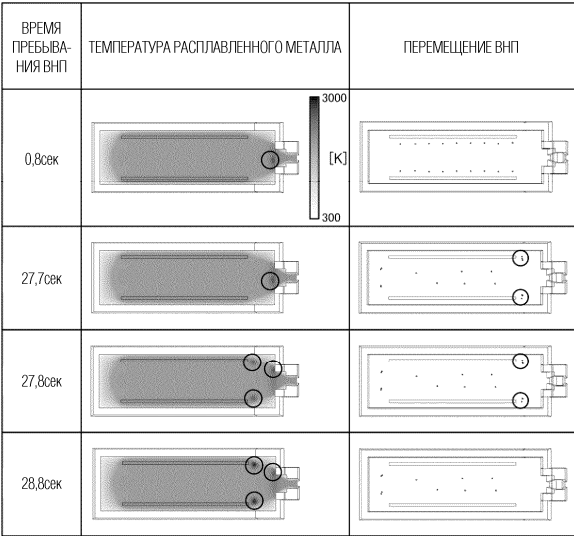
Фиг. 42



Фиг. 43



Фиг. 44



Фиг. 45

