

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **039472**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2022.01.31**

(51) Int. Cl. **B21B 3/00** (2006.01)  
**B22D 21/06** (2006.01)

(21) Номер заявки  
**202091038**

(22) Дата подачи заявки  
**2017.10.26**

---

(54) **СПОСОБ ПРОИЗВОДСТВА ГОРЯЧЕКАТАНОЙ ТИТАНОВОЙ ПЛИТЫ**

---

(43) **2020.07.31**

(56) WO-A1-2017018511  
WO-A1-2016051511

(86) **РСТ/JP2017/038776**

(87) **WO 2019/082352 2019.05.02**

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

(72) Изобретатель:  
**Тацудзава Йосицугу, Куниеда  
Томонори, Мори Кенити, Такахаси  
Кадзухиро, Фудзии Хидеки (JP)**

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

---

(57) Способ производства горячекатаной титановой плиты включает в себя: [1] плавление по меньшей мере одной части боковой поверхности титанового сляба путем воздействия луча или плазмы на боковую поверхность, но не на прокатываемую поверхность, с последующим образованием в боковой поверхности повторно затвердевшего слоя, имеющего диаметр зерна 1,5 мм или меньше и глубину 3,0 мм или больше от боковой поверхности; [2] выполнение процесса отделки на прокатываемой поверхности титанового сляба, в котором сформирован этот слой, чтобы тем самым довести показатель плоскостности X сляба до 3,0 или меньше; и [3] подвергание титанового сляба после процесса отделки горячей прокатке так, чтобы длина L дуги контакта валка в первом проходе черновой прокатки составляла 230 мм или больше.

**B1**

**039472**

**039472**

**B1**

### Область техники

Настоящее изобретение относится к способу производства горячекатаной титановой плиты.

#### Предпосылки изобретения

Горячекатаные титановые плиты обычно производятся с помощью описанного ниже способа производства. Сначала плавят титановую губку, полученную с помощью процесса Кролла, или титановый лом, а затем осуществляют кристаллизацию материала с образованием слитка (процесс плавки). Затем слиток подвергают обжатию на блюминге или ковке, которые выполняют в качестве горячей обработки давлением, и обрабатывают в сляб, имеющий форму и размеры, подходящие для горячей прокатки с целью производства горячекатаной титановой плиты (передельный процесс). Затем сляб подвергают горячей прокатке с образованием горячекатаной титановой плиты.

В качестве способа плавки используется процесс вакуумно-дугового переплава с нерасходуемым электродом (ВДП), процесс электронно-лучевого переплава (ЭЛП) или процесс плазменно-дуговой плавки (ПДП).

В случае использования в качестве способа плавки процесса дугового переплава с нерасходуемым электродом форма кристаллизатора ограничивается цилиндрической формой, что приводит к необходимости выполнять передельный процесс. В случае использования в качестве способа плавки процесса электронно-лучевого переплава или процесса плазменно-дуговой плавки имеется высокая степень свободы выбора формы кристаллизатора, поскольку металл плавится в другом месте и лишь затем отливается в кристаллизаторе. Следовательно, может быть отлит прямоугольный столбчатый слиток, имеющий подходящие размеры для горячей прокатки с целью производства горячекатаной титановой плиты. В случае использования такого вида прямоугольного столбчатого слитка для производства титанового горячекатаного материала передельный процесс может быть исключен.

Например, методы, раскрытые в патентных документах 1-3, могут использоваться в качестве способов производства горячекатаной титановой плиты без выполнения передельного процесса.

Патентный документ 1 раскрывает способ, в котором прямоугольный слиток чистого титана, у которого отношение ширина/толщина  $\geq 3,5$ , нагревают до температуры в диапазоне 900-1000°C, а после повергания прямоугольного слитка прокатке, при которой степень обжатия находится в пределах диапазона от 10% до менее чем 40% при температуре поверхности 880°C или больше в начале прокатки, выполняют прокатку так, чтобы полное обжатие при прокатке составляло 70% или больше в такой температурной области, в которой температура поверхности составляет менее 880°C, и температура поверхности сразу после чистой прокатки не становится ниже чем 650°C. В способе, раскрытом в патентном документе 1, поперечное распределение материала предотвращается путем подавления прохода вала в температурной области устойчивости  $\beta$ -фазы до величины не большей, чем заданное значение. Посредством этого, в соответствии с патентным документом 1, предотвращается возникновение ситуации, в которой коробление, которое происходит у поверхности на прокатываемой стороне плиты, перемещается к поверхности из-за поперечного распределения и становится дефектами швов.

В патентном документе 2 предложен способ, в котором поверхность прямоугольного слитка пластически деформируют в качестве холодной обработки с использованием стального инструмента, имеющего форму наконечника с радиусом кривизны 3-30 мм, или стального шарика с радиусом 3-30 мм, и тем самым снабжают лунками, в которых средняя высота профильного элемента волнистости составляет 0,2-1,5 мм, а средняя длина профильного элемента волнистости составляет 3-15 мм. В соответствии с патентным документом 2, за счет придания деформации при холодной обработке поверхности прямоугольного слитка посредством стального инструмента или стального шарика, уменьшаются дефекты поверхности, приписываемые крупнозернистой затвердевшей микроструктуре, которая возникает, когда приповерхностная часть рекристаллизуется во время нагревания слитка при горячей прокатке.

В патентном документе 3 раскрыт исходный титановый материал для горячей прокатки, в котором наружный слой прокатываемой поверхности слитка плавится и повторно затвердевает, подвергаясь одному типу или комбинации двух или более типов процессов из высокочастотного индукционного нагрева, дугового нагрева, плазменного нагрева, нагрева электронным лучом и лазерного нагрева так, чтобы микроструктура в области от наружного слоя до глубины 1 мм или больше стала расплавленной и повторно затвердевшей микроструктурой. В соответствии с патентным документом 3 уменьшаются дефекты поверхности, которые возникают из-за влияния крупнозернистой затвердевшей микроструктуры, путем плавления и повторного затвердевания наружного слоя слитка, чтобы тем самым получить затвердевшую микроструктуру, которая является чрезвычайно мелкозернистой и имеет нерегулярные ориентации.

#### Список документов уровня техники

##### Патентные документы

Патентный документ 1: JP7-251202A

Патентный документ 2: WO 2010/090352

Патентный документ 3: JP2007-332420A

### Сущность изобретения Техническая проблема

Однако в обычных способах производства горячекатаной титановой плиты в некоторых случаях дефекты поверхности, которые называют "дефектами поверхности в краевой части", возникают в концевых частях в направлении по ширине прокатываемой поверхности горячекатаной титановой плиты. Образование дефектов поверхности в краевой части является заметным, в частности, в горячекатаной титановой плите, производимой способом, в котором передельный процесс исключен. Причина этого заключается в том, что поры (мелкие отверстия), которые существуют в поверхности слитка, не делаются безопасными за счет связывания давлением в передельном процессе. Поры, если они присутствуют в титановом слябе, который будет подвергнут горячей прокатке, могут привести к дефектам поверхности в краевой части во время горячей прокатки, потому что поры, присутствующие в прокатываемой поверхности, могут открыться на поверхности, или поры, присутствующие в боковой поверхности, могут переместиться по прокатываемой поверхности в результате вызванного прокаткой пластического течения и открыться на прокатываемой поверхности.

Когда в горячекатаной титановой плите образуются дефекты поверхности в краевой части, необходимо увеличивать количество удаляемой в травильном процессе поверхности горячекатаной титановой плиты (величину зачистки), или обрезать и удалять концевые части в направлении по ширине прокатываемой поверхности, на которой присутствуют дефекты поверхности в краевой части, и, следовательно, выход годного уменьшается.

Цель настоящего изобретения состоит в том, чтобы предложить способ производства горячекатаной титановой плиты, в которой подавлено образование дефектов поверхности в краевой части и которая имеет благоприятные поверхностные свойства.

### Решение проблемы

Для подавления образования дефектов поверхности в краевой части горячекатаной титановой плиты авторы настоящего изобретения рассмотрели возможность ингибирования открытия пор, присутствующих в прокатываемой поверхности титанового сляба и вблизи от прокатываемой поверхности в боковых поверхностях титанового сляба, во время горячей прокатки. В результате исследования, проведенного авторами настоящего изобретения, они обнаружили, что подвергая титановый сляб перед горячей обработкой давлением процессу плавления и повторного затвердевания, который удовлетворяет нижеприведенному условию [1], и процессу отделки, который удовлетворяет нижеприведенному условию [2], а также выполнения горячей обработки давлением, которая удовлетворяет нижеприведенному условию [3], возможно подавить образование дефектов поверхности в краевой части, которые происходят из пор вблизи прокатываемой поверхности титанового сляба, и таким образом пришли к настоящему изобретению.

Суть настоящего изобретения заключается в следующем.

(1) Способ производства титановой плиты путем выполнения горячей прокатки титанового сляба, произведенного напрямую с использованием процесса электронно-лучевого переплава или процесса плазменно-дуговой плавки, содержащий

когда поверхность титанового сляба, подлежащая горячей прокатке, определяется как "прокатываемая поверхность", а поверхность, которая является параллельной направлению прокатки и перпендикулярна прокатываемой поверхности, определяется как "боковая поверхность",

[1] стадию плавления по меньшей мере одной части боковой поверхности титанового сляба со стороны прокатываемой поверхности путем воздействия лучом или плазмой на боковую поверхность без воздействия лучом или плазмой на прокатываемую поверхность, а после этого повторного затвердевания с образованием в боковой поверхности слоя микроструктуры, имеющего эквивалентный диаметр окружности зерна 1,5 мм или меньше и имеющего глубину 3,0 мм или больше от боковой поверхности;

[2] стадию выполнения процесса отделки на прокатываемой поверхности титанового сляба, в котором сформирован слой микроструктуры, чтобы довести значение X, определяемое нижеприведенной формулой (1), до 3,0 или меньше; и

[3] стадию подвергания титанового сляба после процесса отделки горячей прокатке при условии, по которому значение L, определяемое нижеприведенной формулой (2), составляет 230 мм или больше.

$$X = (\text{наибольшее значение из } H_0, H_1 \text{ и } H_2) - (\text{наименьшее значение из } H_0, H_1 \text{ и } H_2) \dots (1)$$

$$L = \{R(H_0 - H_3)\}^{1/2} \dots (2)$$

где смысловое значение каждого символа в вышеприведенных формулах является следующим:

X - показатель плоскостности сляба;

$H_0$  - толщина центральной части в направлении по ширине титанового сляба после процесса отделки (мм);

$H_1$  - толщина концевой части (в положении 1/8 ширины) в направлении по ширине титанового сляба после процесса отделки (мм);

$H_2$  - толщина концевой части (в положении 1/4 ширины) в направлении по ширине титанового сляба после процесса отделки (мм);

L - длина дуги контакта вала в первом проходе черновой прокатки (мм);

R - радиус прокатного валка в первом проходе черновой прокатки (мм);

$H_3$  - толщина центральной части в направлении по ширине титанового сляба на стороне выхода в первом проходе черновой прокатки (мм).

(2) Способ производства горячекатаной титановой плиты по п.(1), в котором на стадии [1] слой микроструктуры формируют по всей боковой поверхности.

(3) Способ производства горячекатаной титановой плиты по п.(1), в котором на стадии [1] на боковой поверхности слой мелкозернистой микроструктуры формируют в области от прокатываемой поверхности до положения на по меньшей мере 1/6 толщины титанового сляба.

(4) Способ производства горячекатаной титановой плиты по п.(3), в котором на стадии [1] на боковой поверхности слой мелкозернистой микроструктуры формируют в области от прокатываемой поверхности до положения на по меньшей мере 1/3 толщины титанового сляба.

(5) Способ производства горячекатаной титановой плиты по любому из пп.(1)-(4), в котором на стадии [2] шероховатость (Ra) прокатываемой поверхности делают равной 0,6 мкм или больше.

(6) Способ производства горячекатаной титановой плиты по любому из пп.(1)-(5), в котором на стадии [3] радиус прокатного валка в первом проходе черновой прокатки составляет больше чем 650 мм.

(7) Способ производства горячекатаной титановой плиты по любому из пп.(1)-(6), в котором на стадии [3] обжигание в первом проходе черновой прокатки составляет 30% или больше.

(8) Способ производства горячекатаной титановой плиты по любому из пп.(1)-(7), в котором на стадии [3] шероховатость (Ra) поверхности прокатного валка составляет 0,6 мкм или больше.

#### **Полезные эффекты изобретения**

В соответствии со способом производства горячекатаной титановой плиты по настоящему изобретению появление дефектов поверхности в краевой части, вызываемых порами, присутствующими в боковых поверхностях титанового сляба, перемещающихся к прокатываемой поверхности и открывающихся в прокатываемой поверхности во время горячей прокатки, может быть предотвращено, и даже если поры присутствуют в прокатываемой поверхности титанового сляба, появление дефектов поверхности в краевой части из-за открытия пор, присутствующих в прокатываемой поверхности, может быть предотвращено. Следовательно, в соответствии со способом производства горячекатаной титановой плиты по настоящему изобретению получается горячекатаная титановая плита с хорошими поверхностными свойствами. В результате количество металла, удаляемое с поверхности горячекатаной титановой плиты при зачистке в травильном процессе, может быть уменьшено. Кроме того, ширина обрезаемых и удаляемых концевых частей титановой плиты в направлении по ширине прокатываемой поверхности из-за дефектов поверхности в краевой части может быть уменьшена, а выход годного увеличен.

#### **Краткое описание чертежей**

Фиг. 1 представляет собой схематическое изображение, иллюстрирующее поперечное сечение титанового сляба, произведенного с помощью процесса электроннолучевого переплава или процесса плазменно-дуговой плавки.

Фиг. 2 - вид для описания одного примера процесса плавления и повторного затвердевания в способе производства горячекатаной титановой плиты в соответствии с настоящим вариантом осуществления.

Фиг. 3 - вид для описания одного примера процесса плавления и повторного затвердевания.

Фиг. 4 - вид для описания одного примера процесса плавления и повторного затвердевания.

Фиг. 5 - вид для описания одного примера процесса горячей прокатки в способе производства горячекатаной титановой плиты в соответствии с настоящим вариантом осуществления.

Фиг. 6 - вид для описания другого примера процесса плавления и повторного затвердевания в способе производства горячекатаной титановой плиты в соответствии с настоящим вариантом осуществления.

#### **Описание вариантов осуществления**

В способе производства горячекатаной титановой плиты в соответствии с настоящим вариантом осуществления титановая плита производится путем выполнения горячей прокатки после выполнения процесса плавления и повторного затвердевания и процесса отделки на титановом слябе, произведенном напрямую с использованием процесса электронно-лучевого переплава или процесса плазменно-дуговой плавки. Далее каждый из этих процессов будет описан со ссылками на фиг. 1-6.

##### **1. Условия производства титанового сляба**

При производстве горячекатаной титановой плиты в соответствии с настоящим вариантом осуществления используется титановый сляб, произведенный напрямую с использованием процесса электронно-лучевого переплава или процесса плазменно-дуговой плавки.

В этом случае в качестве титанового сляба может использоваться слиток или сляб в форме прямоугольного столбика, имеющий размеры, подходящие для горячей прокатки с целью производства горячекатаной титановой плиты, а также сляб или слиток, произведенный с использованием множества различных способов. В частности, в качестве титанового сляба может использоваться прямоугольный столбчатый слиток, произведенный с использованием процесса электронно-лучевого переплава или процесса плазменно-дуговой плавки.

В случае титана, имеющего состав высоколегированного сплава, сила реакции при прокатке при

температурных условиях области  $\alpha$ -фазы или области  $\alpha+\beta$ -фаз является большой. Следовательно, довольно затруднительно произвести горячекатаную титановую плиту, имеющую состав высоколегированного сплава, которая состоит только из  $\alpha$ -фазы или  $\alpha$ -фазы и  $\beta$ -фазы. Соответственно, в случае выполнения горячей прокатки титана, имеющего состав высоколегированного сплава, с высокой степенью обжатия, она предпочтительно выполняется в области  $\beta$ -фазы. Однако когда титан, имеющий состав высоколегированного сплава, подвергается горячей прокатке в области  $\beta$ -фазы, имеет место небольшое образование дефектов поверхности в краевой части. Следовательно, титановый сляб, используемый в настоящем варианте осуществления, предпочтительно имеет состав, состоящий из титана, в котором содержание Ti равно 99% или больше (также называемого "технически чистым титаном"), или титана, имеющего состав низколегированного сплава, в которой главной составляющей фазой является  $\alpha$ -фаза (также называемого "титановым сплавом"). Однако при необходимости в качестве титанового сляба может использоваться титан, состоящий из  $\alpha$ -фазы и  $\beta$ -фазы, а также титан, состоящий из  $\beta$ -фазы.

Химический состав титанового сляба определяется в соответствии с химическим составом и массовой долей титановой губки и/или титанового лома, которые используются в качестве сырья, а также химических составов и массовых долей добавляемых вспомогательных материалов. Следовательно, для того, чтобы гарантировать получение целевого химического состава титанового сляба, химические составы титановой губки и титанового лома, а также вспомогательного сырья заранее определяются с помощью химического анализа и т.п., и требуемые массовые количества соответствующего сырья определяются в соответствии с химическими составами. Следует отметить, что даже если в сырье содержится некоторый элемент (например, хлор или магний), который испаряется и удаляется при электронно-лучевом переплаве, этот элемент не содержится в титановом слябе. В дальнейшем символ "%", используемый в отношении содержания каждого элемента, обозначает "массовый процент".

Химический состав титанового сляба по настоящему изобретению содержит, например, O: от 0 до 1,0%, Fe: от 0 до 5,0%, Al: от 0 до 5,0%, Sn: от 0 до 5,0%, Zr: от 0 до 5,0%, Mo: от 0 до 2,5%, Ta: от 0 до 2,5%, V: от 0 до 2,5%, Nb: от 0 до 2%, Si: от 0 до 2,5%, Cr: от 0 до 2,5%, Cu: от 0 до 2,5%, Co: от 0 до 2,5%, Ni: от 0 до 2,5%, элементы платиновой группы: от 0 до 0,2%, PЗМ: от 0 до 0,1%, В: от 0 до 3%, N: от 0 до 1%, С: от 0 до 1%; H: от 0 до 0,015%, а остальное составляют титан и примеси.

В частности, элементы платиновой группы представляют собой один или более элементов, выбираемых из Ru, Rh, Pd, Os, Ir и Pt, и содержание элементов платиновой группы означает суммарное содержание вышеупомянутых элементов. Кроме того, термин "PЗМ" является общим термином, используемым для обозначения в общей сложности 17 элементов: Sc, Y и лантаноидов, и термин "содержание PЗМ" относится к суммарному содержанию вышеупомянутых элементов.

Наличие O, Fe, Al, Sn, Zr, Mo, Ta, V, Nb, Si, Cr, Cu, Co, Ni, элементов платиновой группы, PЗМ и В для химического состава не является существенным, и нижний предел содержания каждого из этих элементов составляет 0%. По мере необходимости нижний предел содержания каждого из O, Fe, Al, Sn, Zr, Mo, Ta, V, Nb, Si, Cr, Cu, Co, Ni, элементов платиновой группы, PЗМ и В может быть установлен как 0,01%, 0,05%, 0,1%, 0,2% или 0,5% соответственно.

Верхний предел содержания O может быть задан как 0,80, 0,50, 0,30 или 0,10%. Верхний предел содержания Fe может быть задан как 3, 2 или 1%. Верхний предел содержания Al может быть задан как 3, 2 или 1%. Верхний предел содержания Sn может быть задан как 3, 2 или 1%. Верхний предел содержания Zr может быть задан как 3, 2 или 1%. Верхний предел содержания Mo может быть задан как 2, 1,5, 1 или 0,5%. Верхний предел содержания Ta может быть задан как 2, 1,5, 1 или 0,5%. Верхний предел содержания V может быть задан как 2, 1,5, 1 или 0,5%. Верхний предел содержания Nb может быть задан как 1,5, 1, 0,5 или 0,3%. Верхний предел содержания Si может быть задан как 2, 1,5, 1 или 0,5%. Верхний предел содержания Cr может быть задан как 2, 1,5, 1 или 0,5%. Верхний предел содержания Cu может быть задан как 2, 1,5, 1 или 0,5%. Верхний предел содержания Co может быть задан как 2, 1,5, 1 или 0,5%. Верхний предел содержания Ni может быть задан как 2, 1,5, 1 или 0,5%. Верхний предел содержания элементов платиновой группы может быть задан как 0,4, 0,3, 0,2 или 0,1%. Верхний предел содержания PЗМ может быть задан как 0,05, 0,03 или 0,02%. Верхний предел содержания В может быть задан как 2, 1, 0,5 или 0,3%. Верхний предел содержания N может быть задан как 0,08, 0,05, 0,03 или 0,01%. Верхний предел содержания С может быть задан как 0,08, 0,05, 0,03 или 0,01%. Верхний предел содержания H может быть задан как 0,012, 0,010, 0,007 или 0,005%.

Титановый сляб в соответствии с настоящим изобретением предпочтительно производится так, чтобы удовлетворять диапазону химического состава, определенному в различных стандартах. Хотя существуют также стандарты ASTM и AMS, примеры стандартов будут описаны главным образом с упором на стандарты JIS в качестве репрезентативных стандартов. Настоящее изобретение может использоваться для производства титана, который соответствует спецификациям этих стандартов.

Примеры стандартов для титана включают в себя Классы 1-4, определенные в стандарте JIS H 4600 (2012), Классы 1-4, определенные в стандарте ASTM B265, а также Классы 3.7025, 3.7035 и 3.7055, определенные в стандарте DIN 17850.

Титановый сплав, в котором общее количество легирующих элементов не превышает 5,0%, а ос-

тальное - Ti и примеси, может упоминаться как пример титана, имеющего состав низколегированного сплава, в котором главной составляющей фазой является  $\alpha$ -фаза. В этом случае примеры легирующих элементов включают в себя Al и т.п., которые являются  $\alpha$ -стабилизирующими элементами, Sn, Zr и т.п., которые являются нейтральными элементами, Fe, Cr, Cu, Ni, V, Mo, Ni, Si, Co, Ta и т.п., которые являются  $\beta$ -стабилизирующими элементами, Pd, Ru и т.п., которые являются элементами платиновой группы, Mm (мишметалл), Y и т.п., которые являются редкоземельными металлами, а также O, C, N и т.п., которые являются газообразными элементами. Предпочтительное содержание  $\alpha$ -стабилизирующих элементов или нейтральных элементов составляет 0-5,0% соответственно, а предпочтительное содержание  $\beta$ -стабилизирующих элементов составляет 0-2,5%. Предпочтительное содержание редкоземельных металлов составляет 0-0,5%, а предпочтительное содержание газообразных элементов, таких как O, C и N, составляет 0-1,0%. Каждое из этих содержаний относится к суммарному содержанию в случае добавления множества элементов.

Примеры таких титановых сплавов включают в себя коррозионностойкий сплав, который содержит 0,02-0,2% Pd или Ru, которые являются элементами платиновой группы, вместе с Ti, или коррозионностойкий сплав, который содержит 0,02-0,2% Pd или Ru, которые являются элементами платиновой группы, а также 0,001-0,1% Mm или Y, являющихся редкоземельными металлами, вместе с Ti, или термостойкий сплав, который содержит 0,1-2,5% каждого из Al, Cu и Sn, у которых высока растворимость в  $\alpha$ -фазе.

Как проиллюстрировано на фиг. 2, титановый сляб 10, который является исходным материалом для горячекатаной титановой плиты, имеет, по существу, прямоугольную столбчатую форму. Поверхности, которые приблизительно перпендикулярны направлению по толщине титанового сляба 10 (другими словами, две поверхности, нормаль к которым приблизительно параллельна направлению по толщине титанового сляба), называются прокатываемыми поверхностями 10C и 10D, которые прокатываются во время горячей прокатки. Как проиллюстрировано на фиг. 2, прокатываемые поверхности 10C и 10D титанового сляба приблизительно прямоугольны.

Кроме того, поверхности, которые приблизительно параллельны направлению по толщине титанового сляба 10 (другими словами, поверхности, нормаль к которым приблизительно перпендикулярна направлению по толщине титанового сляба), называются "боковыми поверхностями". Боковые поверхности титанового сляба 10 делятся на два вида. Одним видом боковой поверхности является боковая поверхность, которая приблизительно параллельна длинной стороне прямоугольника, образуемого прокатываемыми поверхностями 10C и 10D (другими словами, боковая поверхность, нормаль к которой приблизительно параллельна короткой стороне прокатываемой поверхности). Этот вид боковой поверхности упоминается как "длинная боковая поверхность" (обозначенная ссылочными цифрами 10A и 10B на фиг. 2). Другими словами, боковая поверхность, которая является параллельной направлению D прокатки в процессе горячей прокатки, является длинной боковой поверхностью. Другим видом боковой поверхности является боковая поверхность, которая приблизительно параллельна короткой стороне прямоугольника, образуемого прокатываемыми поверхностями 10C и 10D (другими словами, боковая поверхность, нормаль к которой приблизительно параллельна длинной стороне прямоугольника, образуемого прокатываемыми поверхностями). Этот вид боковой поверхности упоминается как "короткая боковая поверхность".

Следует отметить, что боковые поверхности 10A и 10B, которые являются параллельными направлению D прокатки титанового сляба 10, используемого в настоящем варианте осуществления, означают "длинные боковые поверхности". В дальнейшем описании, если явно не указано иное, термин "боковая поверхность" титанового сляба означает "длинную боковую поверхность" титанового сляба.

## 2. Условия процесса плавления и повторного затвердевания

Процесс плавления и повторного затвердевания, который выполняется на титановом слябе, должен удовлетворять нижеописанному условию [1].

[1] После плавления по меньшей мере одной части боковой поверхности титанового сляба со стороны прокатываемой поверхности путем воздействия лучом или плазмой на боковую поверхность без воздействия лучом или плазмой на прокатываемую поверхность, расплавленная часть повторно затвердевает, формируя слой микроструктуры, имеющий эквивалентный диаметр окружности зерна 1,5 мм или меньше до глубины по меньшей мере 3,0 мм от боковой поверхности. Этот слой микроструктуры представляет собой микроструктуру, которая формируется путем превращения из  $\beta$ -фазы в  $\alpha$ -фазу во время плавления и повторного затвердевания, и является более мелкозернистой микроструктурой, чем материнская фаза, и ниже упоминается как "слой мелкозернистой микроструктуры".

Следует отметить, что из-за того, что титановый сляб, произведенный напрямую с использованием процесса электронно-лучевой или плазменно-дуговой плавки, медленно охлаждается в вакууме, материнская фаза, для которой не выполнен процесс плавления и повторного затвердевания, представляет собой чрезвычайно большую литую микроструктуру, имеющую диаметр эквивалентной окружности зерна в несколько мм. С другой стороны, после того, как боковая поверхность такого вида титанового сляба будет временно расплавлена в процессе плавления и повторного затвердевания, титановый сляб

относительно быстро охлаждается за счет рассеяния тепла из сляба во время повторного затвердевания. Следовательно, слой мелкозернистой микроструктуры представляет собой мелкозернистую микроструктуру по сравнению с материнской фазой. Диаметр эквивалентной окружности зерна слоя мелкозернистой микроструктуры предпочтительно составляет 1,2 мм или меньше, и более предпочтительно 1,0 мм или меньше. Хотя диаметр эквивалентной окружности зерна в слое мелкозернистой микроструктуры может быть настолько малым, насколько это возможно, его практический нижний предел составляет 5 мкм. Нижний предел диаметра эквивалентной окружности зерна слоя мелкозернистой микроструктуры может составлять 1 мкм. Поры, существующие в боковых поверхностях титанового сляба, могут быть сделаны безопасными путем формирования такого вида слоя мелкозернистой микроструктуры.

Кроме того, диаметр зерна слоя мелкозернистой микроструктуры может быть измерен путем полирования поперечного сечения Т титанового сляба (поперечного сечения, перпендикулярного боковой поверхности и параллельного направлению по толщине титанового сляба) и выполнения измерения с использованием дифракции электронов с обратным рассеянием (EBSD). При этом измерении зерна рассматриваются как отличающиеся, когда имеется разность ориентации кристаллов в  $5^\circ$  или больше между смежными точками измерения, определяется площадь А каждого зерна, и диаметр l эквивалентной окружности зерна может быть вычислен на основе формулы  $A = \pi \times (l/2)^2$ .

Когда титановый сляб подвергается горячей прокатке, части боковых поверхностей перемещаются на прокатываемую поверхность из-за поперечного распределения по поверхности центральной части титанового сляба. Следовательно, если дефекты присутствуют на части боковой поверхности, большое количество дефектов поверхности на краевой части образуется в концевых частях по ширине плиты, и значительная доля этих частей должна быть обрезана, что уменьшает выход годного. Даже в том случае, когда величина перемещения по прокатываемой поверхности является большой, она соответствует приблизительно 1/3-1/6 толщины сляба. Например, в том случае, когда толщина сляба составляет в диапазоне приблизительно 200-260 мм, величина такого перемещения составляет приблизительно несколько десятков мм. Следовательно, та часть, которая перемещается на прокатываемую поверхность, является частью, находящейся близко к прокатываемой поверхности (около прокатываемой поверхности) на боковой поверхности, и образование дефектов поверхности в краевой части на прокатываемой поверхности может быть подавлено даже без плавления и повторного затвердевания всей боковой поверхности. Следовательно, достаточно сформировать слой мелкозернистой микроструктуры на по меньшей мере одной части каждой боковой поверхности со стороны прокатываемой поверхности. Более конкретно, в случае плавления и повторного затвердевания по меньшей мере одной части боковой поверхности со стороны прокатываемой поверхности, когда толщина титанового сляба принята за "t", предпочтительно формировать слой мелкозернистой микроструктуры в области от прокатываемой поверхности до положения на 1/3 t. Другими словами, предпочтительно расплавлять и повторно затвердевать по меньшей мере области от верхнего и нижнего краев сляба высотой в 1/3 t. Другими словами, даже если имеется область, которая не подвергается плавлению и повторному затвердеванию, но она находится ниже положения в 1/3 t в центре толщины плиты, образование дефектов поверхности в краевой части на прокатываемой поверхности может быть предотвращено. Кроме того, при подвергании плавлению и повторному затвердеванию только одной части боковой поверхности продолжительность обработки может быть сокращена, а производительность увеличена. Однако поскольку существует риск того, что эффект предотвращения образования дефектов поверхности в краевой части не будет получен, если слой мелкозернистой микроструктуры будет обеспечен только в очень узком диапазоне, в случае обеспечения слоя мелкозернистой микроструктуры в по меньшей мере одной части боковой поверхности со стороны прокатываемой поверхности слой мелкозернистой микроструктуры может быть сформирован в области от прокатываемой поверхности до положения на 1/6 t.

С другой стороны, и вся боковая поверхность может быть подвергнута плавлению и повторному затвердеванию. В этом случае, в дополнение к подавлению образования дефектов поверхности в краевой части, вызываемых перемещением части соответствующих боковых поверхностей на прокатываемую поверхность, как было описано выше, образование краевых трещин на концевых частях плиты может быть предотвращено. Краевые трещины снижают выход годного. Кроме того, в том случае, когда холодная прокатка выполняется после выполнения горячей прокатки титанового продукта, имеющего сравнительно высокую прочность, иногда может происходить разрыв плиты из-за краевых трещин. Путем плавления и повторного затвердевания всей боковой поверхности возникновение такого разрыва плиты может быть предотвращено. Определение того, нужно ли плавить и повторно затвердевать только по меньшей мере одну часть боковой поверхности со стороны прокатываемой поверхности или всю боковую поверхность, может быть сделано на основе размера продукта (толщины) или процесса производства (включает ли процесс производства в себя холодную прокатку и т.п.).

В настоящем процессе прокатываемая поверхность титанового сляба не плавится. Причина этого заключается в том, что плавление и повторное затвердевание прокатываемой поверхности титанового сляба может вызвать образование неровностей на поверхности. В частности, в настоящем изобретении горячая прокатка выполняется так, чтобы длина дуги контакта составляла 230 мм или больше, и поэтому имеется склонность к образованию большого пластического течения в направлении по ширине плиты во

время горячей прокатки. Следовательно, если прокатываемая поверхность плавится и повторно затвердевает, на поверхности могут образоваться линейные дефекты горячей прокатки. Поэтому в настоящем патенте плавление и повторное затвердевание прокатываемой поверхности не выполняется.

Фиг. 2 показывает вид, описывающий один пример процесса плавления и повторного затвердевания в способе производства горячекатаной титановой плиты по настоящему варианту осуществления. В соответствии с процессом плавления и повторного затвердевания путем облучения электронным лучом или плазмой боковых поверхностей 10А и 10В без выполнения процесса плавления и повторного затвердевания на прокатываемых поверхностях 10С и 10D, по меньшей мере одна часть боковых поверхностей 10А и 10В со стороны прокатываемых поверхностей 10С и 10D, которая параллельна направлению D прокатки титанового сляба 10, плавится и повторно затвердевает, и при этом формируется более мелкозернистая микроструктура, чем микроструктура основного металла. При этом плавление и повторное затвердевание выполняются так, чтобы глубина слоя мелкозернистой микроструктуры от боковых поверхностей 10А и 10В составляла 3,0 мм или больше. В процессе плавления и повторного затвердевания боковых поверхностей 10А и 10В в некоторых случаях часть концевых областей прокатываемых поверхностей 10С и 10D (например, областей, проходящих на 10 мм или 5 мм от концов), смежных с боковыми поверхностями 10А и 10В, может плавиться и повторно затвердевать, и может формироваться слой микроструктуры, подобный слою мелкозернистой микроструктуры, и такое плавление и повторное затвердевание являются приемлемыми.

В качестве способа нагрева, используемого при плавлении и повторном затвердевании боковых поверхностей 10А и 10В, которые являются параллельными направлению D прокатки титанового сляба 10 в настоящем варианте осуществления, могут использоваться дуговой нагрев (вольфрамовым электродом в среде защитных газов (ТИГ)), лазерный нагрев с использованием лазера на газообразном диоксиде углерода и т.п., плазменный нагрев, плазменно-дуговой нагрев, индукционный нагрев, электронно-лучевой нагрев и т.п. В частности, в том случае, когда используются плазменный нагрев и электронно-лучевой нагрев, поскольку подвод тепла может быть увеличен, получающаяся при литье прямоугольного столбчатого слитка неровность поверхности может быть легко выровнена. Кроме того, в том случае, когда используются плазменный нагрев и электроннолучевой нагрев, процесс плавления и повторного затвердевания может быть легко выполнен в неокисляющей атмосфере. Следовательно, плазменный нагрев и электроннолучевой нагрев являются подходящими в качестве способов плавления и повторного затвердевания титанового сляба 10, который состоит из активного металла. В случае выполнения процесса плавления и повторного затвердевания в вакууме для предотвращения окисления поверхности титанового сляба 10 желательно, чтобы степень вакуума в печи, в которой выполняется процесс плавления и повторного затвердевания, составляла  $3 \times 10^{-3}$  мм рт.ст. или меньше.

Процесс плавления и повторного затвердевания по настоящему варианту осуществления может выполняться однократно, или количество раз выполнения процесса плавления и повторного затвердевания может быть увеличено по мере необходимости. Однако чем больше раз выполняется процесс плавления и повторного затвердевания, тем дольше будет продолжительность обработки, что приведет к уменьшению производительности и увеличению затрат. Следовательно, количество раз выполнения процесса плавления и повторного затвердевания предпочтительно равно одному или двум.

В соответствии с настоящим вариантом осуществления слой мелкозернистой микроструктуры формируется путем плавления и повторного затвердевания по меньшей мере одной части на боковых поверхностях 10А и 10В со стороны прокатываемых поверхностей 10С и 10D, которые являются параллельными направлению D прокатки титанового сляба 10. В титановом слябе 10, имеющем слой мелкозернистой микроструктуры по настоящему варианту осуществления, поскольку имеется значительная разница между размером микроструктуры слоя мелкозернистой микроструктуры и размером микроструктуры основного металла, слой мелкозернистой микроструктуры и основной металл можно легко различить путем наблюдения в микроскоп поперечного сечения, ортогонального к направлению прокатки. Слой мелкозернистой микроструктуры включает в себя расплавленный и повторно затвердевший металл, образовавшийся в процессе плавления и повторного затвердевания, а также слой зоны термического влияния (слой ЗТВ), образующийся в процессе плавления и повторного затвердевания.

В настоящем варианте осуществления при выполнении процесса плавления и повторного затвердевания слой мелкозернистой микроструктуры формируется до глубины 3,0 мм или больше на по меньшей мере одной части на боковых поверхностях 10А и 10В со стороны прокатываемых поверхностей 10С и 10D. Глубина слоя мелкозернистой микроструктуры предпочтительно составляет 4,0 мм или больше. При глубине слоя мелкозернистой микроструктуры 3,0 мм или больше поры, которые существуют в боковых поверхностях титанового сляба 10, могут быть сделаны безопасными. Кроме того, при глубине слоя мелкозернистой микроструктуры 3,0 мм или больше, в том случае, когда прямоугольный столбчатый слиток сразу после отливки используется в качестве титанового сляба 10, неровность отливки на боковых поверхностях титанового сляба 10 может быть уменьшена. В отличие от этого, когда глубина слоя мелкозернистой микроструктуры составляет менее 3,0 мм, поры, существующие в боковых поверхностях титанового сляба 10, перемещаются к прокатываемой поверхности из-за вызываемого горячей прокаткой пластического течения, и образование дефектов поверхности в краевой части, которые возни-

кают из-за открывающихся на прокатываемой поверхности пор, не может быть предотвращено в достаточной степени.

Для того, чтобы эффективно выполнить процесс плавления и повторного затвердевания, глубина слоя мелкозернистой микроструктуры предпочтительно делается равной 20,0 мм или меньше, а более предпочтительно 10,0 мм или меньше.

В настоящем варианте осуществления термин «глубина» слоя мелкозернистой микроструктуры означает глубину, которая измеряется следующим способом. Образец, в котором область на боковой поверхности в поперечном сечении, перпендикулярном боковой поверхности, служит наблюдаемой поверхностью, берется из титанового сляба после процесса плавления и повторного затвердевания. Полученный образец заливается в смолу по мере необходимости, поверхность наблюдения зеркально полируется механическим полированием, а затем подвергается травлению с использованием раствора азотной и фтористоводородной кислоты, и поля зрения размером 30×30 мм или больше наблюдаются в микроскоп для того, чтобы измерить глубину слоя мелкозернистой микроструктуры. Следует отметить, что в том случае, когда слой мелкозернистой микроструктуры является глубоким, поля зрения увеличиваются в направлении глубины, и для измерения глубины слоя мелкозернистой микроструктуры используются микрофотографии. Среднее значение вычисляется затем на основе глубины слоя мелкозернистой микроструктуры в произвольных пяти точках, и вычисленное значение принимается в качестве глубины слоя мелкозернистой микроструктуры.

Далее в качестве одного примера процесса плавления и повторного затвердевания по настоящему варианту осуществления будет описан случай, в котором боковые поверхности 10А и 10В, параллельные направлению D прокатки титанового сляба 10, плавятся с использованием электронно-лучевого нагрева и повторно затвердевают.

Сначала, как проиллюстрировано на фиг. 2, титановый сляб 10 располагается так, чтобы боковые поверхности 10А и 10В были приблизительно горизонтальны. Затем из этих двух боковых поверхностей 10А и 10В титанового сляба 10 электронный луч из одной электронно-лучевой пушки 12 в качестве нагревательного устройства излучается на ту поверхность, которая обращена вверх (10А на фиг. 2), чтобы тем самым нагреть эту поверхность, и по меньшей мере часть боковой поверхности 10А со стороны прокатываемой поверхности 10D плавится и повторно затвердевает.

Форма и площадь облучаемой электронным лучом области 14 боковой поверхности 10А титанового сляба 10 может регулироваться в соответствии со способом регулировки фокуса электронного луча и/или способом регулировки плотности пучка с использованием электромагнитной линзы для осцилляции малого луча с высокой частотой и т.п.

Площадь облучаемой электронным лучом области 14 боковой поверхности 10А титанового сляба 10 намного меньше, чем общая площадь боковой поверхности 10А, которая является объектом плавления и повторного затвердевания. Следовательно, предпочтительно излучать электронный луч, непрерывно перемещая электронно-лучевую пушку 12 относительно боковой поверхности 10А титанового сляба 10, или непрерывно перемещая боковую поверхность 10А титанового сляба 10 относительно электронно-лучевой пушки 12.

Направление перемещения электронно-лучевой пушки 12 относительно боковой поверхности 10А особо не ограничено. Например, как проиллюстрировано на фиг. 2, электронно-лучевая пушка 12 может излучать электронный луч, перемещаясь (как показано стрелкой на фиг. 2) в направлении D прокатки титанового сляба 10 (в продольном направлении титанового сляба 10). Посредством этого электронно-лучевая пушка 12 непрерывно нагревает боковую поверхность 10А в виде полосы с шириной W (с диаметром W в случае круглого луча или плотного пучка). Когда электронно-лучевая пушка 12 достигает концевой в продольном направлении части титанового сляба 10, она перемещается на заданное расстояние в направлении по толщине титанового сляба 10. После этого в ненагретой области, которая расположена рядом с нагретой областью в виде полосы на боковой поверхности 10А, боковая поверхность 10А непрерывно нагревается в виде полосы путем перемещения электронно-лучевой пушки 12 в направлении, противоположном направлению предыдущего перемещения в продольном направлении.

Перемещение электронно-лучевой пушки 12 в продольном направлении титанового сляба 10 и перемещение электронно-лучевой пушки 12 на заданное расстояние в направлении по толщине титанового сляба 10 выполняются таким образом многократно для того, чтобы нагреть по меньшей мере одну часть или всю боковую поверхность 10А со стороны прокатываемой поверхности 10D.

Когда температура боковой поверхности 10А становится равной или большей температуры плавления титана (обычно примерно 1670°C) в результате нагрева боковой поверхности 10А титанового сляба 10 путем облучения электронным лучом, наружный слой боковой поверхности 10А плавится. Посредством этого, как проиллюстрировано на фиг. 3, неровность 10P поверхности отливки или дефекты 10Q, такие как поры в боковой поверхности 10А титанового сляба 10, делаются безопасными.

После этого, когда наружный слой боковой поверхности 10А охлаждается за счет рассеяния тепла из основного металла (внутри титанового сляба 10) после плавления, и его температура становится равной или меньшей температуры затвердевания, расплавленный наружный слой боковой поверхности 10А затвердевает и становится расплавленным и повторно затвердевшим 16. Таким образом в боковой по-

верхности 10А формируются слой 20 мелкозернистой микроструктуры, состоящий из расплавленного и повторно затвердевшего металла 16, и слой 18 зоны термического влияния (слой ЗТВ) до глубины, соответствующей подводу тепла электронным лучом. Слой 18 зоны термического влияния (слой ЗТВ) формируется из области со стороны основного металла, когда слой 16 расплавляемого и повторно затвердевающего металла достигает температуры не ниже точки превращения  $\beta$ , благодаря нагреву при формировании слоя 16 расплавленного и повторно затвердевшего металла и преобразованию в  $\beta$ -фазу.

Следует отметить, что, как проиллюстрировано на фиг. 3 и 4, глубина слоя 16 плавления и повторного затвердевания и слоя 18 зоны термического влияния (слоя ЗТВ), которые формируются с использованием электронно-лучевого нагрева (глубина слоя 20 мелкозернистой микроструктуры), является неоднородной. В слое 16 плавления и повторного затвердевания и слое 18 зоны термического влияния (слоя ЗТВ) глубина является наибольшей в центральной части облучаемой электронным лучом области 14 и глубина постепенно становится меньше к краям облучаемой области 14, образуя криволинейную форму, выпуклую в сторону основного металла на поперечном сечении. Следовательно, чтобы сделать глубину слоя 16 плавления и повторного затвердевания и слоя 18 зоны термического влияния (слоя ЗТВ) (глубину слоя 20 мелкозернистой микроструктуры), которые формируются с использованием нагрева электронным лучом, равной или большей 3,0 мм, в некоторых случаях необходимо регулировать интервал электронного луча, излучаемого в форме полосы.

Например, в случае непрерывного нагрева всей боковой поверхности путем многократного выполнения перемещения электронно-лучевой пушки 12 в продольном направлении титанового сляба и перемещения электронно-лучевой пушки 12 на заданное расстояние в направлении по толщине титанового сляба 10, как было описано выше, делая величину перемещения электронно-лучевой пушки 12 в направлении по толщине титанового сляба 10 не большей, чем  $1/2$  ширины плавления, глубина слоя 20 мелкозернистой микроструктуры может быть сделана приблизительно однородной.

Таким образом, в соответствии с настоящим вариантом осуществления предпочтительно плавить и повторно затвердевать боковую поверхность 10А, управляя подводом тепла электронным лучом и интервалом облучения электронным лучом так, чтобы глубина слоя 20 мелкозернистой микроструктуры стала равна 3,0 мм или больше. Предпочтительно, чтобы разность между максимальной глубиной и минимальной глубиной слоя 20 мелкозернистой микроструктуры в каждом поле зрения при наблюдении составляла 1,0 мм или меньше.

Затем титановый сляб 10 помещается так, чтобы боковая поверхность 10В была обращена вверх, и электронный луч излучается на нее из одной электронно-лучевой пушки 12 для плавления и повторного затвердевания поверхности аналогично боковой поверхности 10А.

При выполнении вышеописанного процесса слой 20 мелкозернистой микроструктуры глубиной 3,0 мм или больше, состоящий из более мелкой микроструктуры, чем микроструктура основного металла, формируется в боковых поверхностях 10А и 10В, которые параллельны направлению D прокатки титанового сляба 10.

### 3. Условия процесса отделки

Необходимо, чтобы процесс отделки, который выполняется на титановом слябе после процесса плавления и повторного затвердевания, удовлетворял следующему условию [2].

[2] Прокатываемая поверхность титанового сляба, в котором сформирован слой мелкозернистой микроструктуры, подвергается процессу отделки так, что величину  $X$ , определяемую нижеприведенной формулой (1), доводят до 3,0 или меньше.

$$X = (\text{наибольшее значение из } H_0, H_1 \text{ и } H_2) - (\text{наименьшее значение из } H_0, H_1 \text{ и } H_2) \dots (1)$$

где смысловое значение каждого символа в вышеприведенной формуле является следующим:

$X$  - показатель плоскостности сляба;

$H_0$  - толщина центральной части в направлении по ширине титанового сляба после процесса отделки (мм);

$H_1$  - толщина концевой части (в положении  $1/8$  ширины) в направлении по ширине титанового сляба после процесса отделки (мм);

$H_2$  - толщина концевой части (в положении  $1/4$  ширины) в направлении по ширине титанового сляба после процесса отделки (мм).

Фиг. 1 представляет собой схематическое изображение, иллюстрирующее поперечное сечение титанового сляба, произведенного с помощью процесса электроннолучевого переплава или процесса плазменно-дуговой плавки. В процессе электроннолучевого переплава или плазменно-дуговой плавки титановый сляб производится путем отливки плавящегося металлического титана в кристаллизатор, а затем вытягивания металла снизу. При этом, когда титановый сляб находится внутри кристаллизатора, его поперечное сечение становится таким же, как и у кристаллизатора, потому что титановый сляб ограничен кристаллизатором с четырех сторон. Однако когда титановый сляб выходит из кристаллизатора, его форма больше не ограничена. При этом в центральной части титанового сляба остается ванна расплавленного металла и происходит вспучивание центральной части титанового сляба из-за давления изнутри наружу. Следовательно, как проиллюстрировано на фиг. 1, в направлении по ширине титановый сляб 10

приобретает округлую форму, в которой центральная часть 11a слегка вспучена по сравнению с концевыми частями 11b. Следовательно, если горячая прокатка выполняется в то время, как титановый сляб 10 имеет такую форму, длина дуги контакта прокатного вала будет изменяться между центральной частью 11a и концевыми частями 11b, и длина дуги контакта в концевых частях 11b станет более короткой. В таком случае около концевых частей 11b откроются поры и возникнут дефекты поверхности в краевой части. Если максимальная разница в толщине между центральной частью 11a и концевыми частями 11b составляет 3,0 мм или меньше, длина дуги контакта может быть устойчиво обеспечена. Следовательно, показатель плоскостности X, определяемый вышеприведенной формулой (1), делается равным 3,0 или меньше. Показатель плоскостности X предпочтительно делается равным 2,8 или меньше, а более предпочтительно 2,6 или меньше. Хотя предпочтительно, чтобы показатель плоскостности X был как можно меньше, учитывая технологичность, практическим нижним пределом является значение 0,5.

В настоящем варианте осуществления в качестве примеров способа, используемого для подвергания прокатываемых поверхностей 10C и 10D процессу отделки, может быть упомянут способ, в котором выполняют процесс шлифовки, такой как механическая шлифовка, и/или процесс резания, такой как фрезерование или строгание. Процесс шлифовки отличается от процесса резания, такого как фрезерование или строгание. В качестве процесса отделки после обрезки может быть выполнен процесс шлифовки, такой как механическая шлифовка.

В настоящем варианте осуществления предпочтительно подвергать прокатываемые поверхности 10C и 10D титанового сляба 10, имеющие слой 20 мелкозернистой микроструктуры, процессу отделки так, чтобы достичь шероховатости поверхности (Ra), равной 0,6 мкм или больше, а более предпочтительно 0,8 мкм или больше. За счет того, что шероховатость (Ra) прокатываемых поверхностей 10C и 10D делается равной 0,6 мкм или больше, в процессе горячей прокатки ограничивающая сила, прикладываемая к титановому слябу 10 прокатными валами, которые сжимают титановый сляб 10, увеличивается, и образование дефектов поверхности в краевой части подавляется в большей степени. Если шероховатость поверхности Ra является слишком высокой, появляется риск того, что из-за шероховатости возникнут дефекты горячей прокатки, которые вызовут ухудшение поверхностных свойств. Следовательно, шероховатость поверхности Ra предпочтительно делается равной 100 мкм или меньше. Шероховатость поверхности Ra, равная 50 мкм или меньше, является еще более предпочтительной.

#### 4. Условия горячей прокатки

Необходимо, чтобы горячая прокатка титанового сляба после процесса отделки удовлетворяла следующему условию [3].

[3] Горячая прокатка титанового сляба после процесса отделки выполняется таким образом, чтобы значение L, определяемое нижеприведенной формулой (2), составляло 230 мм или больше.

$$L = \{R(H_0 - H_3)\}^{1/2} \dots (2)$$

где смысловое значение каждого символа в вышеприведенной формуле является следующим:

L - длина дуги контакта вала в первом проходе черновой прокатки (мм);

R - радиус прокатного вала в первом проходе черновой прокатки (мм)

H<sub>0</sub> - толщина центральной части в направлении по ширине титанового сляба после процесса отделки (мм);

H<sub>3</sub> - толщина центральной части в направлении по ширине титанового сляба на стороне выхода в первом проходе черновой прокатки (мм).

В этом случае в первом проходе черновой прокатки площадь контакта между прокатными валами и титановым слябом обеспечивается в достаточной степени. Следовательно, ограничивающая сила, прикладываемая к титановому слябу прокатными валами, сжимающими титановый сляб, получается достаточной. В результате, даже если поры присутствуют в прокатываемой поверхности титанового сляба, открытие пор, существующих в прокатываемой поверхности, предотвращается и образование дефектов поверхности в краевой части подавляется.

Способ производства горячекатаной титановой плиты в соответствии с настоящим изобретением будет теперь описан в более подробно.

Способ горячей прокатки, используемый в процессе горячей прокатки, особо не ограничен, и может использоваться способ, известный в данной области техники, и в том случае, когда горячекатаная титановая плита должна быть превращена в тонколистовой продукт, обычно используется прокатка рулонным способом. Кроме того, в случае изготовления тонколистового продукта толщина горячекатаной титановой плиты обычно составляет приблизительно 3-8 мм.

Условия, которые известны в данной области техники, могут быть использованы в качестве условий нагрева в процессе горячей прокатки. Например, аналогично обычной горячей прокатке титана, достаточно выполнять нагрев до температуры в диапазоне 720-920°C в течение 60-420 мин и начинать горячую прокатку внутри этого диапазона температур, а завершать горячую прокатку при температуре, которая равна или выше комнатной в соответствии с характеристиками стана горячей прокатки.

Фиг. 5 показывает вид, описывающий один пример процесса горячей прокатки в способе производства горячекатаной титановой плиты по настоящему варианту осуществления. Фиг. 5 схематично показывает поперечное сечение, иллюстрирующее состояние, в котором титановый сляб 10, имеющий слой

20 мелкозернистой микроструктуры, прокатывается прокатными валками 24, 24 прокатного стана в зазоре между валками в первом проходе черновой прокатки. В процессе горячей прокатки по настоящему варианту осуществления выполняется горячая прокатка для первого прохода черновой прокатки титанового сляба 10, имеющего слой 20 мелкозернистой микроструктуры, и при этом длина  $L$  дуги контакта для каждого валка составляет 230 мм или больше.

Длина  $L$  дуги контакта валка является длиной той части, в которой каждый прокатный валок 24 и титановый сляб 10 контактируют друг с другом при рассмотрении прокатных валков 24, 24 прокатного стана в поперечном сечении, и определяется вышеприведенной формулой (2).

Дефекты поверхности в краевой части горячекатаной титановой плиты возникают в результате выпячивания титанового сляба 10 на боковые поверхности из-за горячей прокатки. Соответственно дефекты поверхности в краевой части обычно возникают на начальной стадии черновой прокатки, когда степень обжатия является большой. В частности, дефекты поверхности в краевой части обычно возникают в первом проходе черновой прокатки, и практически никаких дефектов поверхности в краевой части не возникает во втором и последующих проходах. Следовательно, достаточно сделать длину  $L$  дуги контакта валка равной или большей 230 мм только в первом проходе черновой прокатки.

При выполнении горячей прокатки в первом проходе черновой прокатки титанового сляба 10 при длине  $L$  дуги контакта валка, равной или большей 230 мм, обеспечивается достаточная поверхность соприкосновения между прокатными валками 24, 24 и титановым слябом 10. Следовательно, ограничивающая сила, прикладываемая к титановому слябу 10 прокатными валками 24, 24, сжимающими титановый сляб 10, получается адекватной, и шероховатость, которая возникает на прокатываемых поверхностях 10C и 10D, может быть уменьшена. В результате, даже если поры присутствуют в прокатываемых поверхностях 10C и 10D титанового сляба 10, их открытие предотвращается и образование дефектов поверхности в краевой части подавляется. Длина  $L$  дуги контакта валка более предпочтительно составляет 250 мм или больше для того, чтобы увеличить ограничивающую силу, прикладываемую к титановому слябу 10 прокатными валками 24, 24. Кроме того, если длина  $L$  дуги контакта валка будет слишком большой, то нагрузка на единицу площади уменьшится, и ограничивающая сила станет более слабой. Следовательно, длина  $L$  дуги контакта валка предпочтительно составляет 400 мм или меньше.

Как показано в вышеприведенной формуле (2), длина  $L$  дуги контакта валка удлиняется при увеличении радиуса  $R$  прокатных валков и степени обжатия.

Для того, чтобы гарантировать длину  $L$  дуги контакта валка, радиус  $R$  прокатного валка 24 предпочтительно составляет более чем 650 мм, а более предпочтительно 750 мм или больше. Однако если радиус  $R$  прокатного валка 24 будет слишком большим, потребуется более крупное прокатное оборудование, и таким образом радиус  $R$  прокатного валка 24 предпочтительно составляет не больше чем 1200 мм.

Степень обжатия в первом проходе черновой прокатки предпочтительно устанавливается равной 30% или больше, более предпочтительно 35% или больше, а еще более предпочтительно 40% или больше. При степени обжатия в первом проходе черновой прокатки 30% или больше легко гарантировать длину  $L$  дуги контакта валка и подавить открытие пор, присутствующих около прокатываемых поверхностей 10C и 10D титанового сляба 10, и образование дефектов поверхности в краевой части при этом подавляется в большей степени. Однако для того, чтобы сделать степень обжатия в первом проходе черновой прокатки большей чем 50%, необходимо использовать прокатное оборудование, которое может прикладывать большую нагрузку, и следовательно размер прокатного оборудования будет большим. Поэтому степень обжатия в первом проходе черновой прокатки предпочтительно устанавливается на не более чем 50%.

Шероховатость поверхности ( $R_a$ ) прокатного валка 24 предпочтительно составляет 0,6 мкм или больше, а более предпочтительно 0,8 мкм или больше. Когда шероховатость поверхности ( $R_a$ ) прокатного валка 24 составляет 0,6 мкм или больше, ограничивающая сила, прикладываемая к титановому слябу 10 прокатными валками 24, 24, которые сжимают титановый сляб 10, увеличивается, и образование дефектов поверхности в краевой части подавляется в большей степени. Однако если шероховатость поверхности ( $R_a$ ) прокатного валка 24 будет слишком высокой, в некоторых случаях поверхностные свойства горячекатаной плиты могут ухудшиться. Следовательно, шероховатость поверхности ( $R_a$ ) прокатного валка 24 предпочтительно составляет 1,5 мкм или меньше.

В способе производства горячекатаной титановой плиты по настоящему варианту осуществления, поскольку слой 20 мелкозернистой микроструктуры с глубиной 3,0 мм или больше формируется в боковых поверхностях 10A и 10B, которые являются параллельными направлению  $D$  прокатки титанового сляба 10, путем их плавления и повторного затвердевания, поры, существующие в боковых поверхностях 10A и 10B титанового сляба 10, могут быть сделаны безопасными. Соответственно, образование дефектов поверхности в краевой части, вызываемое перемещением пор, которые присутствуют в боковых поверхностях 10A и 10B титанового сляба 10, к прокатываемым поверхностям 10C и 10D во время горячей прокатки и их открытием в прокатываемых поверхностях 10C и 10D, может быть подавлено.

Кроме того, в способе производства горячекатаной титановой плиты по настоящему варианту осуществления выполняется такая горячая прокатка в первом проходе черновой прокатки титанового сляба

10, имеющего слой 20 мелкозернистой микроструктуры, при которой длина  $L$  дуги контакта валка делается равной 230 мм или больше. Следовательно, ограничивающая сила, прикладываемая к титановому слябу 10 прокатными валками 24, 24, сжимающими титановый сляб 10, получается достаточной. В результате, даже если поры присутствуют в прокатываемых поверхностях 10С и 10D титанового сляба 10, их открытие предотвращается, и образование дефектов поверхности в краевой части подавляется.

Следовательно, в соответствии со способом производства горячекатаной титановой плиты по настоящему варианту осуществления получается горячекатаная титановая плита с хорошими поверхностными свойствами. В результате в том случае, когда горячекатаная титановая плита подвергается травлению, количество металла, удаляемого с поверхности при зачистке, может быть уменьшено. Кроме того, в том случае, когда концевые части в направлении по ширине прокатываемой поверхности, имеющие дефекты поверхности в краевой части, обрезаются и удаляются из горячекатаной титановой плиты, ширина обрезаемых и удаляемых частей может быть уменьшена. Соответственно выход годного материала горячекатаной титановой плиты увеличивается.

Кроме того, поскольку в соответствии со способом производства горячекатаной титановой плиты по настоящему варианту осуществления получается горячекатаная титановая плита, имеющая хорошие поверхностные свойства, передельный процесс может быть исключен, и производительность тем самым может быть увеличена. Кроме того, в способе производства горячекатаной титановой плиты по настоящему варианту осуществления, даже когда прямоугольный столбчатый слиток сразу после отливки используется в качестве титанового сляба 10, неровность 10Р на литых боковых поверхностях 10А и 10В титанового сляба 10 может быть уменьшена при выполнении процесса плавления и повторного затвердевания. Следовательно, нет необходимости выполнять процесс выравнивания литых боковых поверхностей 10А и 10В титанового сляба 10 отдельно от процесса плавления и повторного затвердевания.

Таким образом, способ производства горячекатаной титановой плиты по настоящему варианту осуществления чрезвычайно полезен для сокращения производственных затрат и промышленные эффекты являются неизмеримыми.

Следует отметить, что способ производства горячекатаной титановой плиты по настоящему изобретению не ограничен способом производства по вышеописанному варианту осуществления.

Например, хотя вышеупомянутый вариант осуществления описан с использованием в качестве примера случая, в котором боковые поверхности 10А и 10В титанового сляба 10 располагаются приблизительно горизонтально, а затем подвергаются плавлению и повторному затвердеванию, как проиллюстрировано на фиг. 6, также может использоваться способ, в котором боковые поверхности 10А и 10В титанового сляба 10 располагаются приблизительно перпендикулярно поверхности земли, а затем подвергаются плавлению и повторному затвердеванию.

Хотя в вышеописанном варианте осуществления описан пример случая, в котором электронно-лучевая пушка 12 излучает электронный луч, перемещаясь в направлении D прокатки титанового сляба 10 (продольном направлении титанового сляба 10), электронно-лучевая пушка 12 может излучать электронный луч, непрерывно перемещаясь вдоль направления, ортогонального к направлению D прокатки (направления по толщине титанового сляба 10).

Хотя в вышеописанном варианте осуществления описан пример случая, в котором электронный луч излучается на боковые поверхности 10А и 10В титанового сляба 10 с использованием одной электронно-лучевой пушки 12 в качестве нагревательного устройства, может использоваться одно или более нагревательных устройств, и множество областей может нагреваться при одновременном использовании множества нагревательных устройств.

### Примеры

Далее настоящее изобретение будет описано более подробно посредством примеров.

Титановые материалы с различными химическими составами, показанными в табл. 1, 4 и 7, плавил с помощью процесса электронно-лучевого переплава (ЭЛП) или процесса плазменно-дуговой плавки (ПДП), а затем кристаллизовали, получив прямоугольные столбчатые слитки в литом состоянии, которые использовались в качестве титановых слябов (шириной 1000 мм). Затем выполняли процесс плавления и повторного затвердевания при различных условиях на боковых поверхностях титановых слябов (гранях, параллельных направлению прокатки и перпендикулярных прокатываемым поверхностям). После этого выполняли процесс отделки при различных условиях и титановые слябы подвергали горячей прокатке, получив горячекатаные титановые плиты.

В вышеупомянутом процессе плавления и повторного затвердевания нагревание каждой боковой поверхности выполняли соответствующими способами, описанными ниже. Боковую поверхность непрерывно нагревали в форме полосы путем перемещения нагревательного устройства в продольном направлении титанового сляба. После достижения концевой части в продольном направлении титанового сляба нагревательное устройство перемещали в направлении по толщине титанового сляба на расстояние, эквивалентное половине ширины расплавляемой полосы. После этого в ненагретой области, расположенной рядом с нагретой областью в форме полосы на боковой поверхности, боковую поверхность непрерывно нагревали в форме полосы путем перемещения нагревательного устройства в направлении, противоположном направлению предыдущего перемещения в продольном направлении. За счет многократно-

го выполнения перемещения нагревательного устройства в продольном направлении титанового сляба и перемещения нагревательного устройства в направлении по толщине титанового сляба на расстояние, эквивалентное половине ширины расплавляемой полосы, нагревали предписанную область боковой поверхности (всю боковую поверхность или одну ее часть со стороны прокатываемой поверхности).

Каждый из титановых слябов после процесса плавления и повторного затвердевания обрезали в направлении, ортогональном к направлению прокатки, на расстоянии 200 мм от конца в направлении прокатки (часть, соответствующая заднему концу во время горячей прокатки), и из этих отрезанных частей извлекали образцы, в которых поверхность реза, ортогональная к направлению прокатки, использовалась в качестве поверхности наблюдения. Полученный образец заливали в смолу, поверхность наблюдения зеркально полировали с помощью механического полирования, а затем подвергали травлению с использованием раствора азотной и фтористоводородной кислоты, и поля зрения размером 30×30 мм или больше наблюдали в микроскоп. В результате для всех титановых слябов было подтверждено, что слой мелкозернистой микроструктуры, состоящий из более мелкозернистой микроструктуры, чем микроструктура основного металла, был сформирован на по меньшей мере одной части боковой поверхности со стороны прокатываемой поверхности. Кроме того, поверхность наблюдения каждого образца полировали и измеряли глубину и диаметр эквивалентной окружности зерна слоя мелкозернистой микроструктуры с использованием EBSD (дифракции электронов с обратным рассеянием). Измерение диаметра эквивалентной окружности зерна выполняли, считая зерна разными по критерию разности кристаллической ориентации 5° или больше между смежными точками измерения, и определяя площадь  $A$  каждого зерна и вычисляя диаметр  $L$  эквивалентной окружности зерна на основе формулы  $A = \pi \times (L/2)^2$ . Затем вычисляли средние значения на основе на глубины и диаметра эквивалентной окружности зерна слоя мелкозернистой микроструктуры в произвольных пяти точках, и вычисленные значения принимали за глубину и диаметр эквивалентной окружности зерна слоя мелкозернистой микроструктуры.

Затем прокатываемые поверхности титанового сляба после процесса плавления и повторного затвердевания подвергали процессу отделки (процессу шлифовки (механической шлифовки) или резания (фрезерования)) для доведения толщины до 200-300 мм. После этого шероховатость поверхности ( $R_a$ ) измеряли в произвольных пяти точках на прокатанных поверхностях титанового сляба, используя прибор для измерения шероховатости поверхности, и определяли их среднее значение. Кроме того, измеряли толщину в центральной части в направлении по ширине и в концевых частях титанового сляба после процесса отделки и определяли показатель плоскостности сляба.

Затем полученные после процесса отделки титановые слябы нагревали в течение 240 мин при температуре 820°C, а после этого выполняли горячую прокатку, которая включала в себя черновую прокатку при различных условиях, чтобы тем самым произвести горячекатаные титановые плиты (рулоны полосы).

Шероховатость поверхности ( $R_a$ ) каждого вала определяли следующим способом. Шероховатость поверхности ( $R_a$ ) в произвольных пяти точках на поверхности вала измеряли с использованием прибора для измерения шероховатости поверхности и определяли их среднее значение. Вычисляли степень обжатия первого прохода черновой прокатки на основе первоначальной толщины плиты и толщины плиты после первого прохода черновой прокатки. Длину дуги контакта вала в первом проходе черновой прокатки вычисляли с использованием формулы (2) на основе радиуса прокатных валков, первоначальной толщины плиты и толщины плиты после первого прохода черновой прокатки.

Затем рулон полосы пропускали через непрерывную линию травления азотной и фтористоводородной кислотой и удаляли при зачистке приблизительно 50 мкм с каждой стороны. После этого концевые части в направлении по ширине прокатываемых поверхностей рулона полосы подвергали визуальному наблюдению для выявления дефектов поверхности, и степень дефектов поверхности в краевой части оценивали для всей длины рулона полосы в соответствии со следующими критериями.

Незначительная (оценка А):

Дефекты поверхности в краевой части не были замечены, или наблюдались дефекты поверхности в краевой части меньше чем 5 мм. (Оценка: Хорошая)

Довольно большие дефекты (оценка В): Наблюдались дефекты поверхности в краевой части размером 5 мм или больше и меньше чем 10 мм. (Оценка: Хорошая)

Глубокие дефекты (оценка С): Наблюдались дефекты поверхности в краевой части размером 10 мм или больше. (Оценка: Плохая)

Производственные условия и оценка исходных материалов для горячей прокатки, показанных в табл. 1, показаны в табл. 2 и 3, производственные условия и оценка исходных материалов для горячей прокатки, показанных в табл. 4, показаны в табл. 5 и 6, и производственные условия и оценка исходных материалов для горячей прокатки, показанных в табл. 7, показаны в табл. 8 и 9.

Таблица 1

№	Исходный материал для горячей прокатки						
	Способ производства слитка	Химический состав (мас.%)					
		O	Fe	N	C	H	Ti
1	ЭЛП	0,052	0,024	0,0032	0,0049	0,0044	Остальное
2	ЭЛП	0,060	0,036	0,0021	0,0039	0,0028	Остальное
3	ЭЛП	0,054	0,046	0,0026	0,0041	0,0027	Остальное
4	ЭЛП	0,054	0,026	0,0038	0,0025	0,0046	Остальное
5	ЭЛП	0,053	0,034	0,0040	0,0037	0,0030	Остальное
6	ЭЛП	0,052	0,047	0,0036	0,0038	0,0029	Остальное
7	ЭЛП	0,057	0,048	0,0036	0,0027	0,0056	Остальное
8	ЭЛП	0,057	0,038	0,0030	0,0025	0,0021	Остальное
9	ЭЛП	0,035	0,042	0,0031	0,0044	0,0041	Остальное
10	ЭЛП	0,046	0,060	0,0033	0,0026	0,0050	Остальное
11	ЭЛП	0,041	0,043	0,0033	0,0033	0,0037	Остальное
12	ЭЛП	0,044	0,049	0,0029	0,0027	0,0055	Остальное
13	ЭЛП	0,043	0,056	0,0022	0,0033	0,0050	Остальное
14	ЭЛП	0,048	0,038	0,0039	0,0045	0,0033	Остальное
15	ЭЛП	0,046	0,021	0,0037	0,0022	0,0044	Остальное
16	ЭЛП	0,042	0,051	0,0032	0,0042	0,0042	Остальное
17	ЭЛП	0,057	0,022	0,0021	0,0035	0,0040	Остальное
18	ЭЛП	0,055	0,056	0,0033	0,0021	0,0056	Остальное
19	ЭЛП	0,041	0,021	0,0028	0,0026	0,0021	Остальное
20	ЭЛП	0,048	0,041	0,0021	0,0038	0,0059	Остальное
21	ЭЛП	0,092	0,058	0,0033	0,0035	0,0030	Остальное
22	ЭЛП	0,193	0,085	0,0025	0,0041	0,0029	Остальное
23	ЭЛП	0,322	0,185	0,0090	0,0090	0,0045	Остальное
24	ЭЛП	0,050	0,030	0,0034	0,0045	0,0020	Остальное
25	ЭЛП	0,047	0,026	0,0026	0,0038	0,0040	Остальное
26	ЭЛП	0,054	0,030	0,0020	0,0020	0,0045	Остальное
27	ЭЛП	0,054	0,044	0,0025	0,0042	0,0037	Остальное
28	ЭЛП	0,375	0,045	0,0250	0,0042	0,0037	Остальное
29	ЭЛП	0,039	0,032	0,0480	0,0041	0,0029	Остальное
30	ЭЛП	0,185	0,085	0,0025	0,0920	0,0029	Остальное
31	ЭЛП	0,122	0,085	0,0025	0,0041	0,0115	Остальное
32	ЭЛП	0,150	0,365	0,0090	0,0090	0,0045	Остальное
33	ЭЛП	0,045	0,044	0,0033	0,0035	0,0030	Остальное
34	ЭЛП	0,045	0,044	0,0033	0,0035	0,0030	Остальное
35	ЭЛП	0,095	0,065	0,0025	0,0041	0,0029	Остальное

Таблица 2

№	Процесс плавки и повторного затвердевания				Процесс отделки		
	Способ нагрева	Глубина слоя мелкозернистой микроструктуры (мм)	Диаметр эквивалентной окружности зерна слоя мелкозернистой микроструктуры (мм)	Область плавления боковых поверхностей	Способ	Шероховатость поверхности Ra (мкм)	Показатель плоскостности X (мм)
1	Электронный луч	<u>2,0</u>	0,20	Одна часть (до 1/4 t)	Фрезерование	0,6	3,0
2	Электронный луч	<u>2,5</u>	0,22	Одна часть (до 1/4 t)	Фрезерование	0,6	3,0
3	Электронный луч	3,0	0,25	Вся поверхность	Фрезерование	0,6	3,0
4	Электронный луч	14,0	<u>1,60</u>	Вся поверхность	Фрезерование	1,0	3,0
5	Электронный луч	11,5	1,30	Вся поверхность	Фрезерование	1,0	3,0
6	Электронный луч	10,3	1,10	Вся поверхность	Фрезерование	1,0	3,0
7	Электронный луч	5,0	0,30	Одна часть (до 1/3 t)	Шлифовка	30,0	3,0
8	Электронный луч	5,0	0,30	Одна часть (до 1/3 t)	Шлифовка	30,0	<u>4,0</u>
9	Электронный луч	4,0	0,27	Вся поверхность	Шлифовка	23,0	3,0
10	Электронный луч	5,0	0,30	Вся поверхность	Шлифовка	23,0	3,0
11	Электронный луч	5,0	0,30	Вся поверхность	Шлифовка	25,0	2,5
12	Электронный луч	6,0	0,75	Вся поверхность	Шлифовка	24,0	2,0

13	Электронный луч	3,0	0,25	Вся поверхность	Шлифовка	22,0	1,8
14	Электронный луч	5,0	0,30	Вся поверхность	Шлифовка	23,0	1,5
15	Электронный луч	5,0	0,30	Вся поверхность	Строганье	11,0	1,5
16	Электронный луч	6,0	0,35	Вся поверхность	Строганье	15,0	3,0
17	Электронный луч	3,0	0,25	Вся поверхность	Строганье	19,0	1,5
18	Электронный луч	5,0	0,30	Одна часть (до 1/3 t)	Фрезерование	15,0	2,2
19	Электронный луч	6,0	0,35	Одна часть (до 1/3 t)	Фрезерование	5,0	2,5
20	Электронный луч	3,0	0,20	Одна часть (до 1/6 t)	Фрезерование	10,0	1,0
21	Электронный луч	5,0	0,30	Одна часть (до 1/3 t)	Фрезерование	10,0	1,0
22	Электронный луч	6,0	0,35	Одна часть (до 1/6 t)	Фрезерование	8,0	2,5
23	Электронный луч	3,0	0,10	Одна часть (до 1/3 t)	Фрезерование	15,0	2,5
24	Электронный луч	6,0	0,35	Одна часть (до 1/3 t)	Шлифовка	20,0	1,5
25	Плазменная дуга	5,0	0,45	Одна часть (до 1/3 t)	Шлифовка	14,0	2,3
26	Лазер	4,0	0,35	Одна часть (до 1/3 t)	Шлифовка	85,0	0,5
27	TIG	4,0	0,40	Одна часть (до 1/3 t)	Шлифовка	45,0	2,1
28	Электронный луч	5,0	0,25	Вся поверхность	Шлифовка	20,0	1,0
29	Электронный луч	6,0	0,30	Вся поверхность	Шлифовка	25,0	1,0
30	Электронный луч	6,0	0,20	Вся поверхность	Шлифовка	23,0	1,0
31	Электронный луч	6,0	0,15	Вся поверхность	Шлифовка	18,0	1,0
32	Электронный луч	3,0	0,05	Вся поверхность	Шлифовка	18,0	1,0
33	Электронный луч	5,0	0,30	Одна часть (до 1/3 t)	Фрезерование	10,0	1,5
34	Электронный луч	5,0	0,30	Одна часть (до 1/6 t)	Фрезерование	10,0	1,5
35	Электронный луч	6,0	0,35	Одна часть (до 1/3 t)	Шлифовка	25,0	1,5

Таблица 3

№	Первый проход черновой прокатки						Оценка дефектов поверхности	Примечания
	Шероховатость	Радиус валка (мм)	Первоначальная толщина плиты (мм)	Толщина после прокатки (мм)	Обжатие при прокатке (%)	Длина дуги контакта валка (мм)		
	Ra поверхности валка (мкм)	валка (мм)	ая толщина плиты (мм)	после прокатки (мм)	прокатке (%)	контакт а валка (мм)	после травления горячекатаной плиты (дефекты около краев)	
1	0,6	700	220	144	35	231	С	Сравнительный пример
2	0,6	700	220	144	45	231	С	Сравнительный пример
3	0,6	700	220	144	35	231	В	Пример
4	0,6	700	220	144	35	231	С	Сравнительный пример
5	0,6	700	220	144	35	231	В	Пример
6	0,6	700	220	144	35	231	В	Пример
7	0,6	700	220	144	35	231	В	Пример
8	0,6	700	220	144	35	231	С	Сравнительный пример
9	0,6	700	200	130	35	221	С	Сравнительный пример
10	0,7	700	200	150	25	187	С	Сравнительный пример
11	0,6	750	240	150	38	260	А	Пример
12	0,6	850	260	155	40	299	В	Пример
13	0,6	1100	200	150	25	235	В	Пример
14	0,6	680	240	135	44	267	В	Пример
15	0,6	750	240	140	42	274	А	Пример
16	0,6	800	260	160	38	283	В	Пример
17	0,6	800	200	120	40	253	А	Пример
18	0,6	800	240	140	42	283	А	Пример
19	0,4	800	260	155	40	290	В	Пример
20	1,3	800	200	130	35	237	В	Пример
21	0,6	750	220	140	36	245	А	Пример
22	0,8	700	200	120	40	237	В	Пример
23	0,8	700	200	120	40	237	В	Пример
24	1,0	800	240	140	42	283	А	Пример
25	0,6	700	200	120	40	237	А	Пример
26	0,6	700	200	120	40	237	В	Пример
27	0,6	700	200	120	40	237	В	Пример
28	0,6	750	200	125	38	237	В	Пример
29	0,6	750	200	125	38	237	В	Пример
30	0,6	750	200	125	38	237	В	Пример
31	0,6	750	200	125	38	237	В	Пример
32	0,6	750	200	125	38	237	В	Пример
33	0,6	550	220	120	45	235	В	Пример
34	0,4	700	220	140	36	237	В	Пример
35	0,4	550	220	120	45	235	В	Пример

Таблица 4

№	Исходный материал для горячей прокатки						
	Способ производства слитка	Химический состав (мас.%)					
		О	Fe	N	С	Н	Ti
36	ПДП	0,053	0,044	0,0023	0,0037	0,0022	Остальное
37	ПДП	0,133	0,047	0,0032	0,0020	0,0027	Остальное
38	ПДП	0,265	0,122	0,0550	0,0045	0,0027	Остальное
39	ПДП	0,345	0,275	0,0045	0,0055	0,0036	Остальное
40	ПДП	0,045	0,040	0,0034	0,0038	0,0028	Остальное
41	ПДП	0,052	0,026	0,0024	0,0028	0,0059	Остальное
42	ПДП	0,050	0,021	0,0034	0,0047	0,0060	Остальное

Таблица 5

№	Процесс плавки и повторного затвердевания				Процесс отделки		
	Способ нагрева	Глубина слоя мелкозернистой микроструктуры (мм)	Диаметр эквивалентной окружности зерна слоя мелкозернистой микроструктуры (мм)	Область плавления боковых поверхностей	Способ	Шероховатость поверхности Ra (мкм)	Показатель плоскостности X (мм)
36	Электронный луч	3,0	0,20	Одна часть (до 1/6 t)	Шлифовка	25,0	0,9
37	Электронный луч	5,2	0,30	Одна часть (до 1/3 t)	Шлифовка	20,0	0,8
38	Электронный луч	6,2	0,75	Одна часть (до 1/3 t)	Фрезерование	5,0	2,9
39	Электронный луч	3,1	0,20	Одна часть (до 1/3 t)	Фрезерование	24,0	1,4
40	Плазменная дуга	9,4	0,90	Одна часть (до 1/3 t)	Фрезерование	18,0	2,5
41	Лазер	3,4	0,35	Одна часть (до 1/3 t)	Шлифовка	20,0	1,4
42	TIG	4,5	0,40	Одна часть (до 1/3 t)	Шлифовка	20,0	2,0

Таблица 6

№	Первый проход черновой прокатки						Оценка дефектов поверхности после травления горячекатаной плиты (дефекты около краев)	Примечания
	Шероховатость Ra поверхности валька (мкм)	Радиус валька (мм)	Первоначальная толщина плиты (мм)	Толщина плиты после прокатки (мм)	Обжатие при прокатке (%)	Длина дуги контакта валька (мм)		
36	0,7	1100	300	165	45	385	A	Пример
37	0,6	950	300	195	35	316	A	Пример
38	0,6	950	300	195	35	316	B	Пример
39	0,7	950	300	210	30	292	B	Пример
40	1,0	950	300	195	35	316	B	Пример
41	0,7	950	200	130	35	258	B	Пример
42	0,6	950	200	130	35	258	B	Пример

Таблица 7

№	Исходный материал для горячей прокатки													
	Способ производства слитка	Химический состав (мас.%)												
		Al	Cu	Ni	Si	Sn	Nb	Pd	Ru	Mn	O	N	C	H
43	ЭЛП	-	-	-	-	-	0,06	-	-	0,042	0,005	0,005	0,015	Остальное
44	ЭЛП	-	-	0,5	-	-	-	0,05	-	0,038	0,007	0,005	0,023	Остальное
45	ЭЛП	-	-	0,5	-	-	-	0,05	0,003	0,044	0,005	0,005	0,012	Остальное
46	ПДП	-	0,5	-	-	-	-	-	-	0,037	0,007	0,005	0,035	Остальное
47	ПДП	-	1,0	-	-	-	-	-	-	0,038	0,005	0,005	0,021	Остальное
48	ПДП	-	1,0	-	-	0,5	-	-	-	0,040	0,006	0,005	0,001	Остальное
49	ПДП	-	1,0	-	0,30	1,0	0,2	-	-	0,035	0,008	0,005	0,023	Остальное
50	ЭЛП	0,5	-	-	0,45	-	-	-	-	0,055	0,009	0,010	0,017	Остальное
51	ЭЛП	0,9	-	-	0,35	-	-	-	-	0,050	0,010	0,010	0,021	Остальное

Таблица 8

№	Процесс плавки и повторного затвердевания				Процесс отделки		
	Способ нагрева	Глубина слоя мелкозернистой микроструктуры (мм)	Диаметр эквивалентной окружности зерна слоя мелкозернистой микроструктуры (мм)	Область плавления боковых поверхностей	Способ	Шероховатость поверхности Ra (мкм)	Показатель плоскостности X (мм)
43	Электронный луч	3,3	0,20	Вся поверхность	Шлифовка	13,0	0,6
44	Электронный луч	8,2	0,75	Вся поверхность	Шлифовка	10,0	1,1
45	Электронный луч	8,2	0,75	Вся поверхность	Шлифовка	22,0	1,1
46	Электронный луч	7,2	0,75	Вся поверхность	Шлифовка	20,0	1,1
47	Электронный луч	6,7	0,05	Вся поверхность	Фрезерование	9,0	2,2
48	Электронный луч	3,2	0,04	Вся поверхность	Фрезерование	17,0	2,1
49	Электронный луч	5,3	0,02	Вся поверхность	Фрезерование	13,0	1,3
50	Электронный луч	6,3	0,03	Вся поверхность	Фрезерование	20,0	2,2
51	Электронный луч	7,3	0,05	Вся поверхность	Фрезерование	24,0	2,2

Таблица 9

№	Первый проход черновой прокатки						Оценка дефектов поверхности после травления горячекатаной плиты (дефекты около краев)	Примечания
	Шероховатость Ra поверхности вальки (мкм)	Радиус вальки (мм)	Первоначальная толщина плиты (мм)	Толщина плиты после прокатки (мм)	Обжатие при прокатке (%)	Длина дуги контакта вальки (мм)		
43	0,9	800	200	120	40	253	А	Пример
44	1,2	950	200	120	40	276	А	Пример
45	1,0	950	200	120	40	276	А	Пример
46	0,8	1000	200	130	35	265	А	Пример
47	0,8	950	200	140	30	239	А	Пример
48	0,8	950	200	140	30	239	А	Пример
49	0,8	950	200	140	30	239	В	Пример
50	0,8	950	200	138	31	243	В	Пример
51	0,8	950	200	136	32	247	В	Пример

Следует отметить, что в табл. 3, 6 и 9 "шероховатость поверхности вальки" означает "шероховатость поверхности прокатного валька в первом проходе черновой прокатки", "радиус вальки" означает, что "радиус прокатного валька в первом проходе черновой прокатки", "первоначальная толщина плиты" означает "толщину центральной части в направлении по ширине титанового сляба после процесса отделки", "толщина плиты после прокатки" означает "толщину центральной части в направлении по ширине титанового сляба на стороне выхода в первом проходе черновой прокатки", и "длина дуги контакта валька" означает "длину дуги контакта валька в первом проходе черновой прокатки".

Как показано в табл. 1-9, в №№ 1 и 2 глубина слоя мелкозернистой микроструктуры не была достаточной и составила менее чем 3 мм. В № 4 диаметр эквивалентной окружности зерна слоя мелкозернистой микроструктуры составил 1,60 мм и был слишком большим. В № 8 показатель X плоскостности прокатываемой поверхности после процесса отделки составил 4,0, что является высоким значением. В №№ 9 и 10 длина дуги контакта валька в первом проходе черновой прокатки была малой.

В результате в №№ 1 и 2, 4 и 8-10 глубокие дефекты присутствовали в концевых частях в направлении по ширине прокатываемых поверхностей горячекатаной титановой плиты, и качество горячекатаной титановой плиты было недостаточным. В отличие от этого, в каждом из №№ 3, 5-7 и 11-51, которые удовлетворяли условиям, определяемым настоящим изобретением, дефекты в концевых частях в направлении по ширине прокатываемой поверхности горячекатаной титановой плиты были "незначительными" или "довольно большими дефектами", и поверхностные свойства горячекатаной титановой плиты были хорошими.

### Список ссылочных обозначений

- 10 - Титановый сляб
- 10A, 10B - Боковая поверхность
- 10C, 10D - Прокатываемая поверхность
- 10P - Неровность поверхности отливки
- 10Q - Дефект
- 12 - Электронно-лучевая пушка
- 14 - Облучаемая область
- 16 - Плавление и повторное затвердевание
- 18 - Слой зоны термического влияния (слой ЗТВ)
- 20 - Слой мелкозернистой микроструктуры
- 24 - Прокатный валок
- D - Направление прокатки
- L - Длина дуги контакта валка

### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ производства титановой плиты путем выполнения горячей прокатки титанового сляба, произведенного напрямую с использованием процесса электронно-лучевого переплава или процесса плазменно-дуговой плавки,

причем когда поверхность титанового сляба, подлежащая прокатке, когда сляб подвергают горячей прокатке, определяется как "прокатываемая поверхность", и поверхность, которая является параллельной направлению прокатки и перпендикулярна прокатываемой поверхности, определяется как "боковая поверхность", содержащий:

[1] стадию плавления по меньшей мере одной части боковой поверхности титанового сляба со стороны прокатываемой поверхности путем воздействия лучом или плазмой на боковую поверхность без воздействия лучом или плазмой на прокатываемую поверхность, а после этого осуществления повторного затвердевания с образованием слоя мелкозернистой микроструктуры, имеющего эквивалентный диаметр окружности зерна 1,5 мм или меньше, до положения на глубине по меньшей мере 3,0 мм от поверхности боковой поверхности в по меньшей мере одной части боковой поверхности;

[2] стадию выполнения процесса отделки на прокатываемой поверхности титанового сляба, в котором сформирован слой мелкозернистой микроструктуры, чтобы довести значение X, определяемое нижеприведенной формулой (1), до 3,0 или меньше; и

[3] стадию подвергания титанового сляба после процесса отделки горячей прокатке при условии, по которому значение L, определяемое нижеприведенной формулой (2), составляет 230 мм или больше;

$$X = (\text{наибольшее значение из } H_0, H_1 \text{ и } H_2) - (\text{наименьшее значение из } H_0, H_1 \text{ и } H_2) \dots (1)$$

$$L = \{R(H_0 - H_3)\}^{1/2} \dots (2)$$

где смысловое значение каждого символа в вышеприведенных формулах является следующим:

X - показатель плоскостности сляба;

H<sub>0</sub> - толщина центральной части в направлении по ширине титанового сляба после процесса отделки (мм);

H<sub>1</sub> - толщина концевой части (в положении 1/8 ширины) в направлении по ширине титанового сляба после процесса отделки (мм);

H<sub>2</sub> - толщина концевой части (в положении 1/4 ширины) в направлении по ширине титанового сляба после процесса отделки (мм);

L - длина дуги контакта валка в первом проходе черновой прокатки (мм);

R - радиус прокатного валка в первом проходе черновой прокатки (мм);

H<sub>3</sub> - толщина центральной части в направлении по ширине титанового сляба на стороне выхода в первом проходе черновой прокатки (мм).

2. Способ производства горячекатаной титановой плиты по п.1, в котором на стадии [1] слой мелкозернистой микроструктуры формируют по всей боковой поверхности.

3. Способ производства горячекатаной титановой плиты по п.1, в котором на стадии [1] на боковой поверхности слой мелкозернистой микроструктуры формируют в области от прокатываемой поверхности до положения на по меньшей мере 1/6 толщины титанового сляба.

4. Способ производства горячекатаной титановой плиты по п.3, в котором на стадии [1] на боковой поверхности слой мелкозернистой микроструктуры формируют в области от прокатываемой поверхности до положения на по меньшей мере 1/3 толщины титанового сляба.

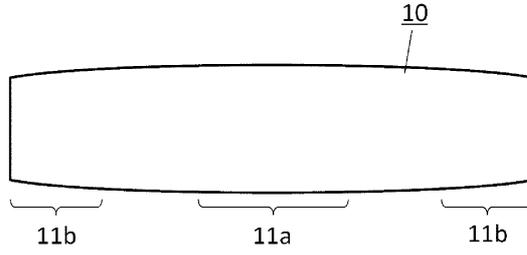
5. Способ производства горячекатаной титановой плиты по любому из пп.1-4, в котором на стадии [2] шероховатость (Ra) прокатываемой поверхности делают равной 0,6 мкм или больше.

6. Способ производства горячекатаной титановой плиты по любому из пп.1-5, в котором на стадии [3] радиус прокатного валка в первом проходе черновой прокатки составляет больше чем 650 мм.

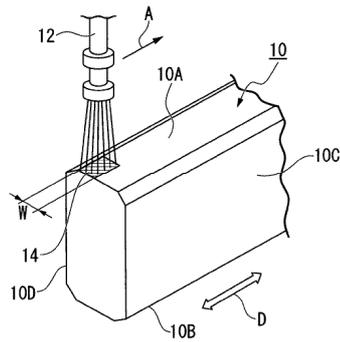
7. Способ производства горячекатаной титановой плиты по любому из пп.1-6, в котором на стадии

[3] обжигание в первом проходе черновой прокатки составляет 30% или больше.

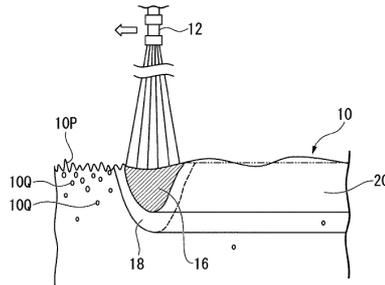
8. Способ производства горячекатаной титановой плиты по любому из пп.1-7, в котором на стадии [3] шероховатость (Ra) поверхности прокатного валка составляет 0,6 мкм или больше.



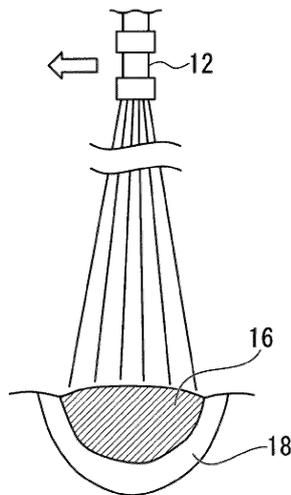
Фиг. 1



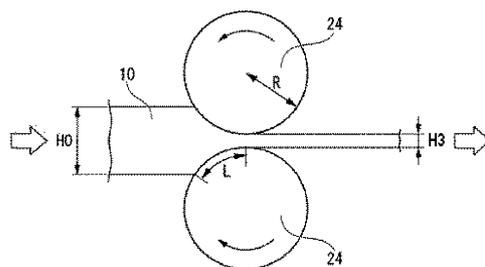
Фиг. 2



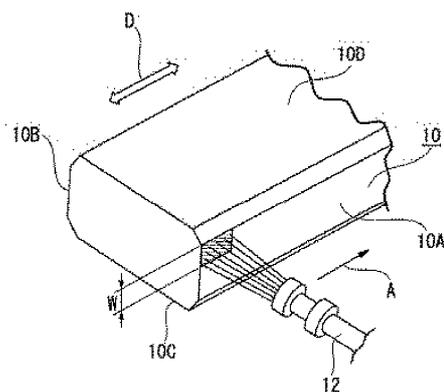
Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6

