

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **035081**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2020.04.24**

(21) Номер заявки  
**201891943**

(22) Дата подачи заявки  
**2017.02.28**

(51) Int. Cl. **C22C 38/00** (2006.01)  
**B60B 17/00** (2006.01)  
**C22C 38/50** (2006.01)  
**C21D 9/34** (2006.01)

---

(54) **ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЕ КОЛЕСО**

---

(31) **2016-039929**

(32) **2016.03.02**

(33) **JP**

(43) **2019.01.31**

(86) **PCT/JP2017/007841**

(87) **WO 2017/150545 2017.09.08**

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

(72) Изобретатель:  
**Кубота Манабу (JP)**

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

(56) **WO-A1-2012067237**  
**WO-A1-2015190088**  
**JP-A-2013147725**  
**JP-A-2008274367**  
**JP-B2-5408382**  
**JP-B2-5240418**  
**JP-A-11199924**

(57) Предлагается железнодорожное колесо, обладающее превосходной стойкостью к коррозионной усталости. Железнодорожное колесо в соответствии с настоящим вариантом осуществления имеет следующий химический состав, состоящий из, мас.%. С: от 0,65 до 0,80 мас.%, Si: от 0,10 до 1,0 мас.%, Mn: от 0,10 до 1,0 мас.%, P: не больше чем 0,030 мас.%, S: не больше чем 0,030 мас.%, Cr: от 0,05 до 0,20 мас.%, Sn: от 0,005 до 0,50 мас.%, Al: от 0,010 до 0,050 мас.%, N: от 0,0020 до 0,015 мас.%, Cu: от 0 до 0,20 мас.%, Ni: от 0 до 0,20 мас.%, Mo: от 0 до 0,20 мас.%, V: от 0 до 0,20 мас.%, Nb: от 0 до 0,030 мас.% и Ti: от 0 до 0,030 мас.%, с остатком, представляющим собой Fe и примеси. Дисковая часть имеет матричную структуру, состоящую из перлита.

**B1**

**035081**

**035081**

**B1**

### Область техники

Изобретение относится к колесу и более конкретно к железнодорожному колесу, используемому для железнодорожного вагона.

### Уровень техники

Для повышения эффективности железнодорожных перевозок усилия были направлены на то, чтобы увеличить нагрузку на железнодорожные вагоны, а также увеличить скорость железнодорожных вагонов. Соответственно, были проведены исследования уменьшения усталостных повреждений, обусловленных контактом качения с рельсом, и улучшения сопротивления износу.

Методики для улучшения сопротивления износу железнодорожных колес были предложены в японской патентной публикации № 2012-107295 (патентный документ 1) и в японской патентной публикации № 2013-231212 (патентный документ 2).

Сталь для колеса, раскрытая в патентном документе 1, состоит из, мас. %: C: от 0,65 до 0,84 мас. %, Si: от 0,02 до 1,00 мас. %, Mn: от 0,50 до 1,90 мас. %, Cr: от 0,02 до 0,50 мас. %, V: от 0,02 до 0,20 мас. % и S: не больше чем 0,04 мас. %, с остатком из Fe и примесей, причем значение Fn1, определяемое формулой (1), составляет 34-43, а значение Fn2, определяемое формулой (2), составляет не больше 25. Здесь формула (1) выглядит как

$$Fn1=2,7+29,5C+2,9Si+6,9Mn+10,8Cr+30,3Mo+44,3V,$$

а формула (2) выглядит как

$$Fn2 = 0,76 \times \exp(0,05C) \times \exp(1,35Si) \times \exp(0,38Mn) \times \exp(0,77Cr) \times \exp(3,0Mo) \times \exp(4,6V).$$

Колесо для железнодорожного вагона, раскрытое в патентном документе 2, состоит из, мас. %: C: от 0,65 до 0,84 мас. %, Si: от 0,4 до 1,0 мас. %, Mn: от 0,50 до 1,40 мас. %, Cr: от 0,02 до 0,13 мас. %, S: не более 0,04 мас. % и V: от 0,02 до 0,12 мас. %, с остатком из Fe и примесей, причем значение Fn1, определяемое формулой (1), составляет 32-43, а значение Fn2, определяемое формулой (2), составляет не больше 25. Здесь формула (1) выглядит как

$$Fn1=2,7+29,5C+2,9Si+6,9Mn+10,8Cr+30,3Mo+44,3V,$$

а формула (2) выглядит как

$$Fn2=\exp(0,76) \times \exp(0,05C) \times \exp(1,35Si) \times \exp(0,38Mn) \times \exp(0,77Cr) \times \exp(3,0Mo) \times \exp(4,6V).$$

Вышеописанные патентные документы 1 и 2 раскрывают, что износостойкость железнодорожных колес улучшается при удовлетворении формулы (1).

Между прочим, в железнодорожных перевозках также ожидается, что когда колесо, установленное на железнодорожном вагоне, подвергается воздействию очень суровой коррозионной окружающей среды, возникает коррозионная усталость, в которой объединяются коррозия и усталость. Коррозионная усталость является явлением усталости, которое создается за счет повторяющегося напряжения в коррозионной окружающей среде. В частности, ожидается, что когда дисковая часть железнодорожного колеса подвергается воздействию коррозионной окружающей среды, образуется коррозионная язва, и происходит явление усталости, в котором коррозионная язва действует в качестве начала трещины. Следовательно, от колеса, которое будет использоваться для железнодорожного вагона, также требуется стойкость к коррозионной усталости.

Методики для улучшения коррозионной стойкости стали были предложены в международной патентной заявке № WO 2012/056785 (патентный документ 3), международной патентной заявке № WO 2013/111407 (патентный документ 4) и в японской патентной публикации № 2008-274367 (патентный документ 5).

Сталь для машинной структуры для поверхностного упрочнения, раскрытая в патентном документе 3, состоит из: C: от 0,30 до 0,60 мас. %, Si: от 0,02 до 2,0 мас. %, Mn: от 0,35 до 1,5 мас. %, Al: от 0,001 до 0,5 мас. %, Cr: от 0,05 до 2,0 мас. %, Sn: от 0,001 до 1,0 мас. %, S: от 0,0001 до 0,021 мас. %, N: от 0,0030 до 0,0055 мас. %, Ni: от 0,01 до 2,0 мас. %, Cu: от 0,01 до 2,0 мас. %, P: не более 0,030 мас. %, и O: не более 0,005 мас. %, с остатком из Fe и неизбежных примесей, для которой удовлетворяются формулы (1)-(3). Здесь формула (1) выглядит как

$$-0,19 \leq 0,12 \times Sn + Cu - 0,1 \times Ni \leq 0,15,$$

формула (2), как

$$60 \leq Mn/S \leq 300,$$

и формула (3), как

$$Sn \geq 0,2 \times Cr.$$

Поверхностно упрочняемый стальной материал, раскрытый в патентном документе 4, состоит из: C: от 0,05 до 0,45 мас. %, Si: от 0,01 до 1,0 мас. %, Mn: больше чем 0 мас. % и до 2,0 мас. %, Al: от 0,001 до 0,06 мас. %, N: от 0,002 до 0,03 мас. %, S: больше чем 0 мас. % и до 0,1 мас. %, P: больше чем 0 мас. % и до 0,05 мас. %, дополнительно по меньшей мере один элемент из Mo, V, Nb, Cu, Ni, Cr и Sn, и остаток из Fe и неизбежных примесей, для которого удовлетворяются формулы (1)-(3). Здесь формула (1) выглядит как

$$Re = (Ae/Ao) \times 100 \leq 30\%,$$

формула (2), как

$$(C_{min}, 1/Co) \geq 0,95,$$

и формула (3), как

$$(C_{\min}, 2/Co) \geq 0,95.$$

Макроструктура этого поверхностно упрочняемого стального материала имеет поперечное сечение, включающее в себя область равноосных кристаллов и область столбчатых кристаллов, расположенную вокруг области равноосных кристаллов.

Сталь для оси, раскрытая в патентном документе 5, состоит из: С: от 0,15 до 0,6 мас.%, Si: от 0,05 до 0,5 мас.%, Mn и Cr: от 0,5 до 3,5 мас.% в сумме, P: не больше чем 0,05 мас.%, S: не больше чем 0,03 мас.%, Cu: менее 0,3 мас.%, Ni: менее 1 мас.%, O: не более 0,01 мас.% и Sn: от 0,05 до 0,50 мас.%, с остатком, представляющим собой Fe и примеси. Кроме того, эта сталь для оси имеет состав, в котором отношение Cu/Sn составляет не больше чем 1.

#### Список цитированной литературы

Патентная литература.

Патентный документ 1. Японская патентная публикация заявка № 2012-107295.

Патентный документ 2. Японская патентная публикация № 2013-231212.

Патентный документ 3. Международная патентная публикация № WO 2012/056785.

Патентный документ 4. Международная патентная публикация № WO 2013/111407.

Патентный документ 5. Японская патентная публикация № 2008-274367.

#### Сущность изобретения

Техническая проблема.

Вышеописанные патентные документы 3-5 раскрывают, что содержание Sn улучшает коррозионную стойкость стали. Однако в патентных документах 3-5 не проводилось никакого исследования железнодорожного колеса и его стойкости к коррозионной усталости. Следовательно, в том случае, когда методики патентных документов 3-5 используются для железнодорожного колеса, могут быть случаи, в которых прочность оказывается недостаточной, и/или достаточная стойкость к коррозионной усталости не может быть получена.

Задачей настоящего изобретения является предложить железнодорожное колесо, обладающее превосходной стойкостью к коррозионной усталости.

Решение проблемы.

Железнодорожное колесо в соответствии с настоящим вариантом осуществления имеет следующий химический состав, состоящий из, мас.%. С: от 0,65 мас.% до 0,80 мас.%, Si: от 0,10 мас.% до 1,0 мас.%, Mn: от 0,10 мас.% до 1,0 мас.%, P: не больше чем 0,030 мас.%, S: не больше чем 0,030 мас.%, Cr: от 0,05 мас.% до 0,20 мас.%, Sn: от 0,005 мас.% до 0,50 мас.%, Al: от 0,010 мас.% до 0,050 мас.%, N: от 0,0020 мас.% до 0,015 мас.%, Cu: от 0 мас.% до 0,20 мас.%, Ni: от 0 мас.% до 0,20 мас.%, Mo: от 0 мас.% до 0,20 мас.%, V: от 0 мас.% до 0,20 мас.%, Nb: от 0 мас.% до 0,030 мас.%, и Ti: от 0 мас.% до 0,030 мас.%, с остатком, представляющим собой Fe и примеси. Дисковая часть железнодорожного колеса имеет матричную структуру, состоящую из перлита.

Полезные эффекты изобретения.

Железнодорожное колесо в соответствии с настоящим вариантом осуществления имеет превосходную стойкость к коррозионной усталости.

#### Краткое описание чертежей

Фиг. 1 представляет собой график, показывающий соотношение между содержанием Sn и коррозионно-усталостной прочностью;

фиг. 2 - вид спереди железнодорожного колеса;

фиг. 3 - вид сбоку железнодорожного колеса;

фиг. 4 - вид спереди образца для испытания на коррозионно-усталостную прочность при вращении и изгибе типа "Оно", который используется для оценки коррозионно-усталостной прочности.

#### Описание вариантов осуществления

Автор изобретения провел исследование стойкости к коррозионной усталости железнодорожных колес путем использования железнодорожных колес, имеющих различные химические составы и микроструктуры, и выявил следующие факты.

Когда железнодорожное колесо в полуфабрикатном состоянии перед покрытием транспортируется морским путем на судне, оно подвергается воздействию влаги (конденсации росы), соленой воды и летучей соли. В этот момент в железнодорожном колесе может образоваться коррозионная язва. Железнодорожное колесо используется после его покрытия. Если во время использования железнодорожного колеса покрытие дисковой части железнодорожного колеса повреждается и удаляется благодаря постоянному ухудшению и столкновению с инородным предметом (камнем и т.д.), и в результате сталь исходного материала подвергается воздействию атмосферной среды (включая случай, в котором присутствует летучая соль), в железнодорожном колесе может образоваться коррозионная язва. Коррозионная язва, образующаяся в такой ситуации, может вызвать ухудшение стойкости к коррозионной усталости.

Для того чтобы предотвратить такую коррозионную усталость железнодорожного колеса, эффективным является улучшить коррозионную стойкость стали к атмосфере и летучей соли, подавляя тем самым формирование глубокой коррозионной язвы, которая действует как место инициации усталостной

трещины. Для улучшения коррозионной стойкости стали эффективно включать в сталь большое количество Cr и Ni для того, чтобы сформировать нержавеющую сталь. Однако включение Cr и Ni повышает затраты на сырье. Кроме того, при этом ухудшаются производительность и прочность стали. Кроме того, Cr образует карбиды в высокоуглеродистой стали для использования в железнодорожных колесах. По этой причине трудно гарантировать такое количество растворенного Cr, которое способствует коррозионной стойкости. Следовательно, сталь, содержащая большое количество Cr и Ni, не является подходящей для использования в железнодорожных колесах.

Как уже было описано, для того чтобы улучшить стойкость к коррозионной усталости, крайне важно подавить образование глубокой коррозионной язвы в дисковой части железнодорожного колеса. Включение Sn в железнодорожное колесо позволяет подавить коррозию и образование коррозионной язвы в среде с соленой водой. В результате становится возможным улучшить коррозионно-усталостную стойкость стали.

Фиг. 1 представляет собой график, показывающий соотношение между содержанием Sn и коррозионно-усталостной прочностью. Фиг. 1 была получена из примеров, которые будут описаны ниже.

Как показано на фиг. 1, включение Sn заметно улучшает коррозионно-усталостную прочность железнодорожного колеса. Когда содержание Sn составляет не менее 0,005 мас.%, коррозионно-усталостная прочность становится равной не менее 400 МПа, обеспечивая таким образом железнодорожное колесо, имеющее превосходную стойкость к коррозионной усталости.

#### Матричная структура.

Когда дисковая часть железнодорожного колеса имеет матричную структуру перлита, может быть получено железнодорожное колесо, имеющее превосходные ударную вязкость и пластичность. Sn концентрируется на границах аустенитного зерна. Сталь, состоящая из неперлитной структуры, такой как мартенсит и бейнит, включает в себя границы предшествующего аустенитного зерна. По этой причине разрушение более вероятно будет происходить вдоль границ предшествующего аустенитного зерна, где концентрируется Sn. В результате ударная вязкость и пластичность стали ухудшаются. В том случае, когда матричная структура стали является перлитом, границы предшествующего аустенитного зерна отсутствуют. Следовательно, даже если Sn концентрируется на границах предшествующего аустенитного зерна перед охлаждением, разрушения вдоль границы зерна не будет происходить, поскольку нет никакой границы предшествующего аустенитного зерна в матричной структуре (перлите) после охлаждения. Таким образом, возможно подавить ухудшение ударной вязкости и пластичности стали.

Железнодорожное колесо по настоящему варианту осуществления, который был выполнен на основе вышеописанных находок, имеет следующий химический состав, состоящий, мас. %: С: от 0,65 до 0,80 мас.%, Si: от 0,10 до 1,0 мас.%, Mn: от 0,10 до 1,0 мас.%, P: не больше чем 0,030 мас.%, S: не больше чем 0,030 мас.%, Cr: от 0,05 до 0,20 мас.%, Sn: от 0,005 до 0,50 мас.%, Al: от 0,010 до 0,050 мас.%, N: от 0,0020 до 0,015 мас.%, Cu: от 0 до 0,20 мас.%, Ni: от 0 до 0,20 мас.%, Mo: от 0 до 0,20 мас.%, V: от 0 до 0,20 мас.%, Nb: от 0 до 0,030 мас.%, и Ti: от 0 до 0,030 мас.%, с остатком, представляющим собой Fe и примеси. Дисковая часть железнодорожного колеса имеет матричную структуру, состоящую из перлита.

Вышеописанный химический состав может также содержать по меньшей мере один элемент, выбираемый из группы, состоящей из Cu: от 0,02 до 0,20 мас.%, и Ni: от 0,02 до 0,20 мас. %.

Вышеописанный химический состав может также содержать по меньшей мере один элемент, выбираемый из группы, состоящей из Mo: от 0,005 до 0,20 мас.%, V: от 0,005 до 0,20 мас.%, Nb: от 0,010 до 0,030 мас.%, и Ti: от 0,010 до 0,030 мас. %.

Далее будет подробно описано железнодорожное колесо настоящего варианта осуществления. Символ "%" относительно элементов означает мас.%, если явно не указано иное.

#### Химический состав.

Химический состав железнодорожного колеса настоящего варианта осуществления содержит следующие элементы.

C: от 0,65 до 0,80 мас. %.

Углерод (C) увеличивает прочность стали и улучшает сопротивление износу и усталостную стойкость. Если содержание C является слишком низким, эти эффекты не могут быть достигнуты. С другой стороны, когда содержание C является слишком высоким, прочность стали становится чрезмерно высокой, и обрабатываемость во время финишных операций ухудшается. Следовательно, содержание C составляет от 0,65 до 0,80 мас.%. Нижний предел содержания C предпочтительно составляет 0,67 мас.% и более предпочтительно 0,69 мас.%. Верхний предел содержания C предпочтительно составляет 0,75 мас.% и более предпочтительно 0,73 мас. %.

Si: от 0,10 до 1,0 мас. %.

Кремний (Si) увеличивает прочность стали. Если содержание Si является слишком низким, этот эффект не может быть достигнут. С другой стороны, когда содержание Si является слишком высоким, прочность стали становится чрезмерно высокой, и обрабатываемость во время финишных операций ухудшается. Следовательно, содержание Si составляет от 0,10 до 1,0 мас.%. Нижний предел содержания Si предпочтительно составляет 0,15 мас.% и более предпочтительно 0,20 мас.%. Верхний предел содержания Si предпочтительно составляет 0,90 мас.% и более предпочтительно 0,80 мас. %.

Mn: от 0,10 до 1,0 мас. %.

Марганец (Mn) измельчает межпластинчатое разделение перлитной структуры, увеличивая тем самым прочность стали. Когда содержание Mn является слишком низким, этот эффект не может быть достигнут. С другой стороны, когда содержание Mn является слишком высоким, обрабатываемость во время финишных операций и выход в процессе производства железнодорожных колес ухудшаются, поскольку образуется неперлитная структура, такая как мартенсит и бейнит. Следовательно, содержание Mn составляет от 0,10 до 1,00 мас. %. Нижний предел содержания Mn предпочтительно составляет 0,50 мас. % и более предпочтительно 0,55 мас. %. Верхний предел содержания Mn предпочтительно составляет 0,90 мас. % и более предпочтительно 0,85 мас. %.

P: не больше чем 0,030 мас. %.

Фосфор (P) является примесью. Фосфор сегрегирует на границы зерна, ухудшая тем самым ударную вязкость стали. Следовательно, содержание P составляет не больше чем 0,030 мас. %. Верхний предел содержания P предпочтительно составляет 0,025 мас. %, более предпочтительно 0,015 мас. % и еще более предпочтительно 0,012 мас. %. Содержание P предпочтительно является настолько низким, насколько это возможно.

S: не больше чем 0,030 мас. %.

Сера (S) является неизбежной примесью. S образует MnS, улучшая тем самым обрабатываемость стали. С другой стороны, когда содержание S является слишком высоким, образуются грубые включения сульфида, ухудшая тем самым свойства колеса, такие как предел усталости, ударная вязкость и т.п. Следовательно, содержание S составляет не больше чем 0,030 мас. %. Верхний предел содержания S предпочтительно составляет 0,025 мас. %, более предпочтительно 0,012 мас. % и еще более предпочтительно 0,010 мас. %. Нижний предел содержания S для улучшения обрабатываемости предпочтительно составляет 0,008 мас. %.

Cr: от 0,05 до 0,20 мас. %.

Хром (Cr), также как и Mn, измельчает межпластинчатое разделение перлитной структуры, увеличивая тем самым прочность стали. Когда содержание Cr является слишком низким, этот эффект не может быть достигнут. С другой стороны, когда содержание Cr является слишком высоким, обрабатываемость во время финишных операций и выход в процессе производства железнодорожных колес ухудшаются, поскольку образуется неперлитная структура, такая как мартенсит и бейнит. Следовательно, содержание Cr составляет от 0,05 до 0,20 мас. %. Нижний предел содержания Cr предпочтительно составляет 0,07 мас. %. Верхний предел содержания Cr предпочтительно составляет 0,18 мас. % и более предпочтительно 0,16 мас. %.

Sn: от 0,005 до 0,50 мас. %.

Олово (Sn) улучшает коррозионную стойкость стали. Кроме того, Sn подавляет образование коррозионной язвы, которая действует в качестве источника усталостной трещины, улучшая тем самым стойкость колеса к коррозионной усталости. Когда содержание Sn является слишком низким, этот эффект не может быть достигнут. С другой стороны, когда содержание Sn является слишком высоким, пластичность стали в горячем состоянии ухудшается, ухудшая таким образом эффективность производства стали. Следовательно, содержание Si составляет от 0,005 до 0,50 мас. %. Нижний предел содержания Sn предпочтительно составляет 0,15 мас. % и более предпочтительно 0,20 мас. %. Верхний предел содержания Sn предпочтительно составляет 0,40 мас. % и более предпочтительно 0,35 мас. %.

Al: от 0,010 до 0,050 мас. %.

Алюминий (Al) формирует устойчивый нитрид даже в высокотемпературном диапазоне. Нитрид Al подавляет огрубление аустенитных зерен в качестве скрепляющей частицы во время нагревания для закалки, совершенствуя тем самым структуру стали. В результате баланс между прочностью, ударной вязкостью и пластичностью стали улучшается. Кроме того, Al является эффективным элементом для раскисления стали во время плавки. С другой стороны, когда содержание Al является слишком высоким, образуются грубые включения, ухудшая тем самым ударную вязкость. Следовательно, содержание Al составляет от 0,010 до 0,050 мас. %. Нижний предел содержания Al предпочтительно составляет 0,015 мас. % и более предпочтительно 0,020 мас. %. Верхний предел содержания Al предпочтительно составляет 0,045 мас. % и более предпочтительно 0,040 мас. %. Содержание Al, упомянутое в настоящем документе, означает содержание кислоторастворимого Al (растворимый Al).

N: от 0,0020 до 0,015 мас. %.

Азот (N) образует устойчивый нитрид даже в высокотемпературном диапазоне, и этот нитрид подавляет огрубление аустенитных зерен в качестве скрепляющей частицы во время нагревания для закалки, совершенствуя тем самым структуру стали. С другой стороны, когда содержание N является слишком высоким, образуются грубые включения, ухудшая тем самым ударную вязкость. Следовательно, содержание N составляет от 0,0020 до 0,015 мас. %. Нижний предел содержания N предпочтительно составляет 0,0030 мас. %. Верхний предел содержания N предпочтительно составляет 0,0080 мас. % и более предпочтительно 0,0070 мас. %.

Остаток химического состава железнодорожного колеса в соответствии с настоящим вариантом осуществления состоит из Fe и примесей. Здесь термин "примесь" означает те элементы, которые вво-

дятся из руды и лома, из производственной среды и т.п. при промышленном производстве железнодорожных колес, а также те элементы, которые могут присутствовать внутри диапазона, не оказывающего негативного влияния на железнодорожное колесо по настоящему варианту осуществления.

Дополнительные элементы.

Вышеописанное железнодорожное колесо может дополнительно содержать вместо части Fe по меньшей мере один элемент, выбираемый из группы, состоящей из Cu и Ni. Любой из этих элементов является необязательным элементом и улучшает прокаливаемость стали, увеличивая тем самым прочность стали.

Cu: от 0 до 0,20 мас. %.

Медь (Cu) является опциональным элементом, и может не содержаться. Когда она содержится, Cu увеличивает прочность стали. Однако, когда содержание Cu является слишком высоким, пластичность стали в горячем состоянии ухудшается, ухудшая таким образом эффективность производства стали. Следовательно, содержание Cu составляет от 0 до 0,20 мас. %. Нижний предел содержания Cu предпочтительно составляет 0,02 мас. % и более предпочтительно 0,04 мас. %. Верхний предел содержания Cu предпочтительно составляет 0,15 мас. % и более предпочтительно 0,13 мас. %.

Ni: от 0 до 0,20 мас. %.

Никель (Ni) является опциональным элементом и может не содержаться. Когда он содержится, Ni улучшает прочность и ударную вязкость стали. Однако когда содержание Ni является слишком высоким, стоимость сырья увеличивается. Следовательно, содержание Ni составляет от 0 до 0,20 мас. %. Нижний предел содержания Ni составляет 0,02 мас. % и более предпочтительно 0,04 мас. %. Верхний предел содержания Ni предпочтительно составляет 0,15 мас. % и более предпочтительно 0,13 мас. %.

Вышеописанное железнодорожное колесо может дополнительно содержать вместо части Fe по меньшей мере один элемент, выбираемый из группы, состоящей из Mo, V, Nb и Ti. Любой из этих элементов является необязательным элементом и совершенствует структуру стали, увеличивая тем самым прочность стали.

Mo: от 0 до 0,20 мас. %.

Молибден (Mo) является опциональным элементом и может не содержаться. Когда он содержится, Mo увеличивает прочность стали за счет дисперсионного твердения. Кроме того, Mo, также как и Mn и Cr, измельчает ламеллярный интервал перлитной структуры, увеличивая тем самым прочность стали. Однако, когда содержание Mo является слишком высоким, образуется неперлитная структура, такая как мартенсит и бейнит, и обрабатываемость во время финишных операций и выход в процессе производства колес ухудшаются. Следовательно, содержание Mo составляет от 0 до 0,20 мас. %. Нижний предел содержания Mo предпочтительно составляет 0,005 мас. % и более предпочтительно 0,008 мас. %. Верхний предел содержания Mo предпочтительно составляет 0,15 мас. % и более предпочтительно 0,13 мас. %.

V: от 0 до 0,20 мас. %.

Ванадий (V) является опциональным элементом и может не содержаться. Когда он содержится, V образует мелкие карбиды и увеличивает прочность стали за счет дисперсионного твердения. Однако, когда содержание V является слишком высоким, образуется неперлитная структура, такая как мартенсит и бейнит, и обрабатываемость во время финишных операций и выход в процессе производства колес ухудшаются. Следовательно, содержание ванадия составляет от 0 до 0,20 мас. %. Нижний предел содержания V предпочтительно составляет 0,005 мас. % и более предпочтительно 0,007 мас. %. Верхний предел содержания V предпочтительно составляет 0,15 мас. % и более предпочтительно 0,13 мас. %.

Nb: от 0 до 0,030 мас. %.

Ниобий (Nb) является опциональным элементом и может не содержаться. Когда он содержится, Nb образует нитрид и карбид в высокотемпературном диапазоне и измельчает структуру стали, увеличивая тем самым прочность стали. Однако, когда содержание Nb является слишком высоким, пластичность стали в горячем состоянии ухудшается, ухудшая таким образом производительность во время непрерывной разливки. Следовательно, содержание Nb составляет от 0 до 0,030 мас. %. Нижний предел содержания Nb предпочтительно составляет 0,010 мас. % и более предпочтительно 0,012 мас. %. Верхний предел содержания Nb предпочтительно составляет 0,025 мас. % и более предпочтительно 0,022 мас. %.

Ti: от 0 до 0,030 мас. %.

Титан (Ti) является опциональным элементом и может не содержаться. Когда он содержится, Ti образует нитрид и карбид в высокотемпературном диапазоне и измельчает структуру стали, увеличивая тем самым прочность стали. Однако, когда содержание Ti является слишком высоким, ударная вязкость стали ухудшается. Следовательно, содержание Ti составляет от 0 до 0,030 мас. %. Нижний предел содержания Ti предпочтительно составляет 0,010 мас. % и более предпочтительно 0,012 мас. %. Верхний предел содержания Ti предпочтительно составляет 0,025 мас. % и более предпочтительно 0,022 мас. %.

Матричная структура.

Фиг. 2 представляет собой вид спереди железнодорожного колеса настоящего варианта осуществления, а фиг. 3 представляет собой поперечное сечение части около обода железнодорожного колеса настоящего варианта осуществления. Как показано на фиг. 2 и 3, железнодорожное колесо включает в себя часть 1 обода колеса, дисковую часть 2 и часть 5 ступицы. Часть 1 обода колеса располагается на внеш-

нем краю железнодорожного колеса и включает в себя поверхность 3 качения, которая контактирует с рельсом. Часть 5 ступицы формируется в центральной части железнодорожного колеса. Сквозное отверстие формируется в центре части 5 ступицы, и ось запрессовывается в это сквозное отверстие.

Дисковая часть 2 формируется между частью 1 обода колеса и частью 5 ступицы и соединяется с частью 1 обода колеса и частью 5 ступицы. Толщина дисковой части 2 является более тонкой, чем толщина части 1 обода колеса и толщина части 5 ступицы.

Матричная структура дисковой части 2 железнодорожного колеса состоит из перлита. В настоящем описании формулировка "матричная структура состоит из перлита" означает, что доля области перлита составляет не менее 95% в матричной структуре дисковой части 2.

Когда железнодорожное колесо, состоящее из неперлитной структуры, такой как мартенсит и бейнит, содержит Sn, Sn концентрируется на границах предшествующего аустенитного зерна, ухудшая тем самым механические свойства железнодорожного колеса. В частности, его ударная вязкость и пластичность ухудшаются, и колеса становятся более склонными к растрескиванию. Когда матричная структура дисковой части 2 железнодорожного колеса состоит из перлита, границы предшествующего аустенитного зерна отсутствуют. Следовательно, возможно получить железнодорожное колесо, которое является менее склонным к растрескиванию и которое обладает превосходной стойкостью к коррозионной усталости.

Следует отметить, что предпочтительно в матричной структуре заэвтектический цементит ухудшает ударную вязкость стали. Следовательно, более малая доля площади заэвтектического цементита в дисковой части 2 является предпочтительной.

Следует отметить, что матричная структура части 1 обода железнодорожного колеса состоит из перлита, как и дисковая часть 2. Таким образом, в матричной структуре части 1 обода колеса доля площади перлита составляет 95% или больше. С другой стороны, в матричной структуре части 5 ступицы железнодорожного колеса доля площади перлита составляет 85% или больше, а доля площади доэвтектического феррита составляет 15% или меньше.

Матричная структура измеряется следующим способом. Образец получается из железнодорожного колеса (в дисковой части 2, в положении на глубине  $t/4$  от поверхности, если толщина дисковой части 2 определяется как  $t$ ). Из поверхностей полученного образца в качестве поверхности наблюдения выбирается поверхность, перпендикулярная к круговому направлению дисковой части 2. После полирования поверхность наблюдения травится 3%-ным спиртовым раствором азотной кислоты (ниталем). Протравленная поверхность наблюдения наблюдается с помощью оптического микроскопа с увеличением  $500\times$  для того, чтобы получить фотографические изображения 5 произвольных полей зрения.

В каждом поле зрения каждая из фаз перлита, феррита, бейнита, мартенсита и т.п. имеет различный контраст. Следовательно, каждая фаза определяется на основе контраста. Затем находится площадь (в  $\text{мкм}^2$ ) фазы перлита в каждом поле зрения. Доля площади перлита (%) определяется как отношение суммы площадей перлита во всех полях зрения к общей площади всех полей зрения. Нижний предел доли площади перлита предпочтительно составляет 95% и более предпочтительно 98%.

Способ производства.

Далее будет описан один пример способа производства вышеописанного железнодорожного колеса.

Способ производства железнодорожного колеса настоящего варианта осуществления включает в себя стадию подготовки сырья (процесс подготовки), стадию формирования железнодорожного колеса из этого сырья (процесс формования), а также стадию выполнения термической обработки сформованного железнодорожного колеса (процесс термической обработки). Далее будет описана каждая стадия.

Процесс подготовки.

Расплавленная сталь, имеющая описанный выше химический состав, производится путем использования электропечи, конвертера и т.п. Эта расплавленная сталь используется для производства исходного материала. Например, расплавленная сталь используется для производства отливки способом непрерывной разливки. Альтернативно расплавленная сталь используется для производства слитка металла с помощью способа изготовления слитков. Отлитая деталь или слиток металла используется для производства заготовки в качестве сырья с помощью блюминга или ковки. Это сырье может быть отливкой, полученной с помощью способа непрерывной разливки. Форма сырья предпочтительно является столбчатой.

Процесс формования.

Промежуточный продукт для железнодорожных колес формируется путем использования подготовленного сырья. Это сырье режется в направлении, перпендикулярном к продольному направлению. Горячая обработка выполняется в перпендикулярном направлении к поверхности реза сырья для того, чтобы сформировать его в форму диска. Кроме того, промежуточный продукт железнодорожного колеса формируется так, чтобы он имел грубую форму колеса, с помощью горячей обработки. Горячая обработка является, например, горячей ковкой, горячей прокаткой и т.п. Поскольку этот промежуточный продукт имеет форму железнодорожного колеса, он имеет поверхность 3 качения и фланцевую часть 4.

Процесс термической обработки.

В процессе термической обработки выполняется термическая обработка промежуточного продукта формованных железнодорожных колес. В частности, термическая обработка выполняется на поверхности 3 качения и фланцевой части 4 высокотемпературного промежуточного продукта после горячей обработки.

После горячей обработки (горячейковки или горячей прокатки) промежуточный продукт может быть повторно нагрет (обработка повторного нагревания), а затем может быть выполнена термическая обработка. Процесс термической обработки включает в себя обработку закалкой. После обработки закалкой может быть выполнена обработка отпуском. В результате твердая перлитная структура может быть обеспечена в поверхности 3 качения и фланцевой части 4 части 1 обода колеса в нижнем слое мартенситной структуры (закаленный слой) поверхностного слоя, который может быть удален путем резания.

При закалке, например, может быть применена закалка поверхности качения охлаждающей водой. Охлаждающая среда закалки особенно не ограничивается, при условии, что может быть получена скорость охлаждения, удовлетворительная для желаемой структуры.

Охлаждающая среда включает в себя, например, воздух, туман, пар (аэрозоль), солевую ванну и т.д. Даже если применяется закалка поверхности качения, структура дисковой части 2, которая имеет более низкую скорость охлаждения, чем поверхность 3 качения и фланцевая часть 4, становится перлитом.

Отпуск промежуточного продукта выполняется после закалки. Отпуск может быть выполнен в достаточной степени при известной температуре в течение известного интервала времени. Например, температура отпуска составляет 400-600°C, а продолжительность выдержки составляет 60-180 мин.

Железнодорожное колесо, произведенное с помощью описанных выше процессов, будет иметь структуру, в которой доля площади перлита в дисковой части 2 составляет не менее 95%. По этой причине степень износа железнодорожного колеса будет уменьшена. Кроме того, возможно получить железнодорожное колесо, обладающее превосходной обрабатываемостью, не склонное к растрескиванию, а также имеющее превосходную стойкость к коррозионной усталости, даже если оно содержит Sn.

### Примеры

Отливки, имеющие химические составы, показанные в таблице, были произведены с помощью непрерывной разливки. Эти отливки имели диаметр 453 мм (φ453 мм). С использованием этих отливок железнодорожные колеса были сформированы путем горячейковки.

Тест №	Химический состав (мас.%, с остатком из Fe и примесей)															Доля площади перлита (%)	Коррозионно-усталостная прочность (МПа)
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Sn	Al	N	Cu	Ni	Mo	V	Nb	Ti		
1	0,66	0,30	0,70	0,015	0,010	0,10	0,15	0,030	0,004	-	-	-	-	-	-	97	440
2	0,70	0,29	0,79	0,017	0,011	0,08	0,15	0,030	0,004	-	-	-	-	-	-	98	460
3	0,70	0,29	0,79	0,017	0,011	0,08	0,15	0,030	0,008	-	0,20	-	-	-	-	98	500
4	0,70	0,29	0,79	0,017	0,011	0,08	0,15	0,015	0,004	0,20	0,20	-	-	-	0,010	96	540
5	0,70	0,29	0,79	0,017	0,011	0,08	0,15	0,010	0,004	-	-	-	-	0,010	-	96	560
6	0,72	0,83	0,78	0,014	0,009	0,11	0,15	0,030	0,004	-	-	-	0,03	-	-	99	590
7	0,73	0,84	0,81	0,006	0,001	0,09	0,15	0,030	0,004	-	-	-	0,09	-	-	95	510
8	0,70	0,29	0,79	0,017	0,011	0,08	0,005	0,030	0,004	-	-	-	-	-	-	99	400
9	0,70	0,29	0,79	0,017	0,011	0,08	0,10	0,030	0,004	-	-	-	-	-	-	99	400
10	0,70	0,29	0,79	0,017	0,011	0,08	0,20	0,030	0,004	-	-	-	-	-	-	99	530
11	0,70	0,29	0,79	0,017	0,011	0,08	0,30	0,030	0,004	-	-	-	-	-	-	99	540
12	0,70	0,29	0,79	0,017	0,011	0,08	0,40	0,030	0,004	-	-	-	-	-	-	99	580
13	0,70	0,29	0,79	0,017	0,011	0,08	0,50	0,030	0,004	-	-	-	-	-	-	99	610
14	0,70	0,29	0,79	0,017	0,011	0,08	-	0,030	0,004	-	-	-	-	-	-	99	230
15	0,70	0,29	0,79	0,017	0,011	0,08	0,003	0,030	0,004	-	-	-	-	-	-	99	230
16	0,70	0,29	0,79	0,017	0,011	0,08	-	0,030	0,004	-	0,20	-	-	-	-	100	380
17	0,70	0,25	0,70	0,015	0,011	0,07	0,15	0,030	0,004	-	-	0,03	-	-	-	98	460

Для каждого из сформированных железнодорожных колес закалка при 850°C была выполнена на поверхности 3 качения и фланцевой части 4 железнодорожного колеса. В частности, железнодорожное колесо, нагретое до 850°C, охлаждалось путем распыления воды из сопла при вращении колеса (так называемая "закалка поверхности качения"). Дополнительный отпуск выполнялся при 450°C на поверхности 3 качения и фланцевой части 4 железнодорожного колеса после закалки. Поскольку закаленный слой (мартенсит и бейнит в виде переохлажденной структуры) существует во внешнем слое поверхности 3 качения, была выполнена обработка резанием внешнего слоя поверхности 3 качения для того, чтобы удалить закаленный слой. С помощью вышеописанного процесса были произведены железнодорожные колеса тестов № 1-17.

Формы железнодорожных колес соответствовали фиг. 2 и 3. Диаметр железнодорожного колеса составлял 1200 мм, ширина W3 части 1 обода колеса составляла 125 мм, и толщина D3 от поверхности 3 качения обода 1 колеса составляла 65 мм.

Тест наблюдения микроструктуры.

Образец для наблюдения микроструктуры брался из положения на глубине t/4 от поверхности дисковой части 2 путем резания перпендикулярно к поверхности дисковой части 2 железнодорожного колеса. Образец заливался в смолу так, чтобы поверхность реза дисковой части 2 была наблюдаемой поверхностью, и выполнялось зеркальное полирование. После этого наблюдение микроструктуры выполнялось вышеописанным способом. В результате микронаблюдения в любом тесте доля площади перлита в матричной структуре составила 95% или больше, а сама микроструктура была, по существу, перлитом.

Испытание на коррозионно-усталостную прочность.

Образец 10 для вращательного испытания на усталость при изгибе типа Оп0, показанный на фиг. 4, вырезался из показанных на фиг. 2 и 3 положений дисковой части 2 железнодорожного колеса в каждом тесте. Тестовый образец вырезался так, чтобы продольное направление тестового образца соответствовало круговому направлению колеса.

Как показано на фиг. 4, образец 10 для вращательного испытания на усталость при изгибе типа Опо имел круглое поперечное сечение и параллельную часть с длиной 15 мм. Цифры, показанные без единиц измерений на фиг. 4, указывают размеры (мм) соответствующих областей образца для испытания. На этом чертеже цифры со значком  $\phi$  означают диаметры (мм) указанных областей.

ССТ (циклический тест коррозии) выполнялся на образце 10 для вращательного испытания на усталость при изгибе типа Опо. Для того чтобы предотвратить эффекты коррозии, вызываемой ССТ, части образца для испытания, отличающиеся от параллельной части, были подвергнуты маскировке. Условия ССТ были следующими. Сначала 5%-ный раствор NaCl распылялся при температуре воздуха 35°C в течение 8 ч (стадия распыления). Затем образец выдерживался в атмосфере с температурой 35°C и относительной влажностью 60% в течение 16 ч (стадия выдержки). Состоящий из стадии распыления и стадии выдержки цикл повторялся 14 раз.

Вращательное испытание на усталость при изгибе типа Опо выполнялось на образцах, с которых была удалена маскировка. В частности, вращательное испытание на усталость при изгибе в соответствии со стандартом JIS Z2274 (1974) проводилось при переменных условиях при скорости вращения 3000 об/мин в атмосфере при комнатной температуре (25°C), и коррозионно-усталостная прочность (МПа) определялась как максимальное напряжение, при котором разрушения не происходило после количества повторов  $N=10^7$ .

Результаты теста.

Результаты этого теста показаны в таблице.

Как показано в таблице, химический состав железнодорожного колеса каждого из тестов № 1-13 и теста № 17 был подходящим, и доля площади перлита в матричной структуре его дисковой части составляла не менее 95%. В результате коррозионно-усталостная прочность составила не менее 400 МПа, показывая превосходную стойкость к коррозионной усталости.

С другой стороны, в тестах № 14-16 содержание Sn было слишком низким. По этой причине коррозионно-усталостная прочность составила менее 400 МПа, показывая низкую коррозионно-усталостную прочность.

Выше были описаны варианты осуществления настоящего изобретения. Однако вышеописанные варианты осуществления являются просто примерами для выполнения настоящего изобретения. Следовательно, настоящее изобретение не будет ограничиваться вышеописанными вариантами осуществления и может быть выполнено путем подходящей модификации вышеописанных вариантов осуществления внутри некоторого диапазона, не отступающего от духа настоящего изобретения.

#### Список ссылочных обозначений

- 1 - Часть обода колеса;
- 2 - дисковая часть;
- 3 - поверхность качения;
- 4 - часть фланца;
- 5 - часть ступицы.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Железнодорожное колесо, имеющее химический состав, содержащий, мас. %:

C: от 0,65 до 0,80,

Si: от 0,10 до 1,0,

Mn: от 0,10 до 1,0,

P: не более 0,030,

S: не более 0,030,

Cr: от 0,05 до 0,20,

Sn: от 0,005 до 0,50,

Al: от 0,010 до 0,050 и

N: от 0,0020 до 0,015,

с остатком из железа и примесей, в котором дисковая часть имеет матричную структуру с долей площади перлита 95% или более.

2. Железнодорожное колесо по п.1, которое содержит по меньшей мере один элемент, выбираемый из группы, состоящей из, мас. %:

Cu: до 0,20 и

Ni: до 0,20.

3. Железнодорожное колесо по п.2, которое содержит по меньшей мере один элемент, выбираемый из группы, состоящей из, мас. %:

Cu: от 0,02 до 0,20 и

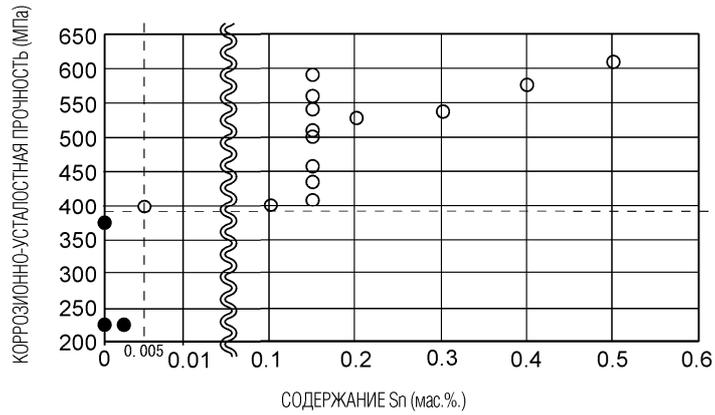
Ni: от 0,02 до 0,20.

4. Железнодорожное колесо по любому из пп.1-3, которое содержит по меньшей мере один элемент, выбираемый из группы, состоящей из, мас. %:

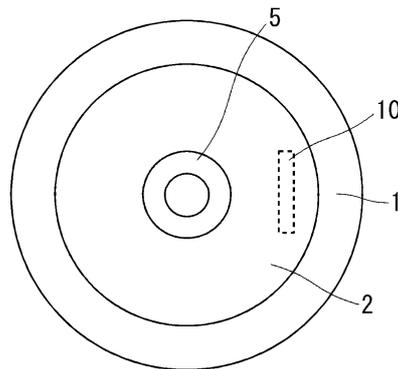
Mo: до 0,20,  
 V: до 0,20,  
 Nb: до 0,030 и  
 Ti: до 0,030.

5. Железнодорожное колесо по п.4, которое содержит по меньшей мере один элемент, выбираемый из группы, состоящей из, мас. %:

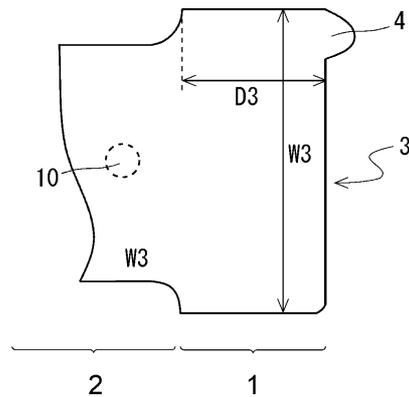
Mo: от 0,005 до 0,20,  
 V: от 0,005 до 0,20,  
 Nb: от 0,010 до 0,030 и  
 Ti: от 0,010 до 0,030.



Фиг. 1



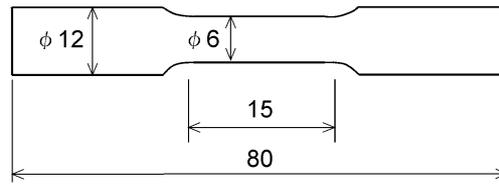
Фиг. 2



Фиг. 3

035081

10



Фиг. 4



Евразийская патентная организация, ЕАПВ

Россия, 109012, Москва, Малый Черкасский пер., 2

---