

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(21) 202392887 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2024.01.31(22) Дата подачи заявки
2022.04.12(51) Int. Cl. C22C 38/00 (2006.01)
B60B 17/00 (2006.01)
C22C 38/50 (2006.01)
C21D 8/00 (2006.01)
C21D 9/34 (2006.01)

(54) ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЕ КОЛЕСО

(31) 2021-069974

(32) 2021.04.16

(33) JP

(86) PCT/JP2022/017582

(87) WO 2022/220237 2022.10.20

(71) Заявитель:

НИШПОН СТИЛ КОРПОРЕЙШН
(JP)

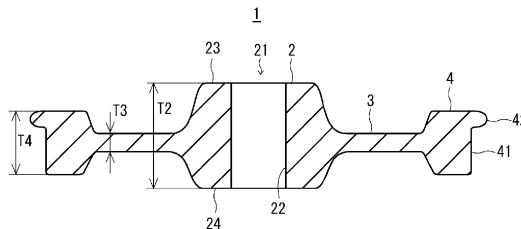
(72) Изобретатель:

Маедзима Такето, Осака Таро,
Ямамото Юитиро, Мацуи Наоки (JP)

(74) Представитель:

Медведев В.Н. (RU)

(57) Предложено железнодорожное колесо, которое обладает превосходной ударной вязкостью в части ступицы. Железнодорожное колесо в соответствии с настоящим изобретением включает в себя часть обода колеса, часть ступицы, имеющую сквозное отверстие, и часть диска. Химический состав железнодорожного колеса включает в себя, в мас.%, С: 0,60-0,80%; Si: 1,00% или меньше, Mn: 0,10-1,50%; P: 0,050% или меньше, S: 0,030% или меньше, и N: 0,0200 мас.% или меньше, с остатком, представляющим собой Fe и примеси. В сечении части ступицы, получаемом, когда часть ступицы режется в направлении центральной оси сквозного отверстия вдоль плоскости, которая включает в себя центральную ось, когда области размером 15×15 мм, которые определяются множеством осевых линейных сегментов, которые параллельны центральной оси и расположены с шагом 15 мм в радиальном направлении железнодорожного колеса от внутренней периферийной поверхности сквозного отверстия, и множеством радиальных линейных сегментов, которые перпендикулярны центральной оси и расположены с шагом 15 мм в направлении центральной оси от той поверхности части ступицы, в которой формируется сквозное отверстие, определяются как прямоугольные области, среднее значение концентрации С в каждой прямоугольной области в сечении части ступицы составляет менее 0,90 мас.%.



A1

202392887

202392887

A1

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

2420-579417EA/23

ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЕ КОЛЕСО

ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ, К КОТОРОЙ ОТНОСИТСЯ ИЗОБРЕТЕНИЕ

[0001]

Настоящее изобретение относится к железнодорожному колесу.

ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0002]

Железнодорожное транспортное средство перемещается по рельсам, составляющим железнодорожный путь. Железнодорожное транспортное средство включает в себя множество железнодорожных колес. Железнодорожные колеса поддерживают транспортное средство, находясь в контакте с рельсом, и перемещаются по рельсу, вращаясь на нем. Железнодорожные колеса изнашиваются благодаря контакту с рельсом. В последнее время с целью повышения эффективности железнодорожных перевозок были предприняты попытки увеличить грузоподъемность железнодорожных транспортных средств и увеличить их скорость. В результате возникла потребность в повышении износостойкости железнодорожных колес.

[0003]

Техники для повышения износостойкости железнодорожных колес были предложены в опубликованной японской патентной заявке № 09-202937 (Патентный документ 1), в опубликованной японской патентной заявке № 2000-345295 (Патентный документ 2), в опубликованной японской патентной заявке № 2012-107295 (Патентный документ 3), и в публикации международной заявки № WO2015/190088 (Патентный документ 4).

[0004]

Железнодорожное колесо, раскрытое в Патентном документе 1, характеризуется тем, что оно является составленным в одно целое железнодорожным колесом, состоящим из стали, имеющей следующий химический состав, в мас. %: С: 0,4-0,75%; Si: 0,4-0,95%, Mn: 0,6-1,2%, Cr: От 0 до менее 0,2%; P: 0,03% или меньше, и S: 0,03% или меньше, с остатком из Fe и других неизбежных примесей, причем участок от поверхности катания (бандажа) колеса до глубины по меньшей мере 50 мм состоит из перлитной структуры. Патентный документ 1 сообщает, что в результате может быть получено составленным в одно цельное колесо железнодорожного транспортного средства, которое одновременно удовлетворяет требованиям по износостойкости и стойкости к тепловому растрескиванию, способно выдерживать повышенные скорости движения, а также имеет длительный срок службы.

[0005]

Железнодорожное колесо, раскрытое в Патентном документе 2, характеризуется тем, что часть катания (обода) и часть гребня железнодорожного колеса состоят из перлитной структуры, содержание углерода (С [мас. %]) составляет 0,5-0,8%, а твердость

по Виккерсу Hvt части профиля катания и твердость по Виккерсу Hvf части гребня находятся в пределах диапазонов, показанных ниже, соответственно. Патентный документ 2 сообщает, что в результате может быть получено железнодорожное колесо, которое в целом имеет длительный срок службы с точки зрения сопротивления усталостному отслаиванию и износостойкости.

$$200 \times C + 210 \leq H_{vf} \leq 357 \times C + 132$$

$$357 \times C + 72 \leq H_{vt} < 200 \times C + 210$$

[0006]

Железнодорожное колесо, раскрытое в Патентном документе 3, характеризуется тем, что оно имеет следующий химический состав в мас. %: С: 0,65-0,84%; Si: 0,02-1,00%, Mn: 0,50-1,90%, Cr: 0,02-0,50%, V: 0,02-0,20%, и S: 0,04% или меньше, причем значение Fn1, представленное формулой (1) ниже, составляет от 34 до 43, значение Fn2, представленное формулой (2) ниже, составляет 25 или меньше, а остаток представляет собой Fe и примеси, где содержания P, Cu и Ni среди примесей являются следующими: P: 0,05% или меньше, Cu: 0,20% или меньше, и Ni: 0,20%. Патентный документ 3 сообщает, что в результате может быть получено железнодорожное колесо с превосходной износостойкостью, усталостной стойкостью при качении и стойкостью к растрескиванию.

$$Fn1 = 2,7 + 29,5 \times C + 2,9 \times Si + 6,9 \times Mn + 10,8 \times Cr + 30,3 \times Mo + 44,3 \times V \quad (1)$$

$$Fn2 = 0,76 \times \exp(0,05 \times C) \times \exp(1,35 \times Si) \times \exp(0,38 \times Mn) \times \exp(0,77 \times Cr) \times \exp(3,0 \times Mo) \times \exp(4,6 \times V) \quad (2)$$

В вышеприведенных Формуле (1) и Формуле (2) C, Si, Mn, Cr, Mo и V представляют собой содержание в мас. % соответствующих элементов.

[0007]

Железнодорожное колесо, раскрытое в Патентном документе 4, содержит, в мас. %: С: 0,65-0,84%; Si: 0,1-1,5%, Mn: 0,05-1,5%; P: 0,025% или меньше, S: 0,015% или меньше, Al: 0,001-0,08%, и Cr: 0,05-1,5%, с остатком из Fe и неизбежных примесей, причем микроструктура по меньшей мере на участке, проходящем внутрь от поверхности катания на глубину 15 мм, представляет собой перлитную структуру, а расстояние между пластинами перлита по меньшей мере в вышеупомянутой области составляет 150 нм или меньше. Патентный документ 4 сообщает, что в результате может быть получено железнодорожное колесо с превосходной износостойкостью.

СПИСОК ЦИТИРОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

ПАТЕНТНАЯ ЛИТЕРАТУРА

[0008]

Патентный документ 1: Японская опубликованная патентная заявка № 09-202937

Патентный документ 2: Японская опубликованная патентная заявка № 2000-345295

Патентный документ 3: Японская опубликованная патентная заявка № 2012-107295

Патентный документ 4: Международная заявка № WO2015/190088

СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

ТЕХНИЧЕСКАЯ ПРОБЛЕМА

[0009]

В соответствии с вышеизложенным, сначала к железнодорожной оси прикладывается нагрузка, соответствующая погрузочной массе железнодорожного транспортного средства. Эта нагрузка затем передается на соответствующие железнодорожные колеса через часть ступицы, которая является контактной частью между железнодорожной осью и железнодорожным колесом. Поэтому на часть ступицы железнодорожного колеса приходится большая нагрузка. В последнее время с целью повышения эффективности железнодорожных перевозок возникла потребность в увеличении грузоподъемности грузовых вагонов. Следовательно, часть ступицы железнодорожного колеса должна обладать превосходной ударной вязкостью.

[0010]

Однако предыдущие исследования не учитывали ударную вязкость части ступицы. Причина этого заключается в том, что было признано, что в железнодорожном колесе важно улучшить износостойкость части обода колеса, которая контактирует с рельсом. В вышеупомянутых Патентных документах 1-4 также не уделяется внимания ударной вязкости части ступицы.

[0011]

В Патентном документе 2 раскрыто, что для повышения износостойкости твердость в части гребня, которая является одной частью части обода колеса, увеличивается до такой степени, которая не ухудшает ударную вязкость, и за счет этого распространение трещин подавляется. Однако, ударная вязкость части ступицы не обсуждается.

[0012]

В Патентном документе 4 раскрыто, что пластичность и ударная вязкость улучшаются за счет того, что средний размер перлитного блока составляет 30 мкм или меньше от профиля катания колеса, который представляет собой поверхность, где контактируют железнодорожное колесо и рельс, на глубину по меньшей мере 15 мм внутрь колеса. Однако, ударная вязкость части ступицы не обсуждается.

[0013]

В Патентных документах 1 и 3 ударная вязкость не рассматривается. Следовательно, существует вероятность того, что превосходная ударная вязкость в части ступицы не может быть получена даже при использовании технологий, раскрытых в Патентных документах 1-4.

[0014]

Задачей настоящего изобретения является предложить железнодорожное колесо, обладающее превосходной ударной вязкостью в части ступицы.

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

[0015]

Железнодорожное колесо в соответствии с настоящим изобретением включает в себя:

часть обода колеса,
часть ступицы, имеющую сквозное отверстие, и
часть диска, которая располагается между частью обода колеса и частью ступицы и
соединена с частью обода колеса и частью ступицы, причем

химический состав железнодорожного колеса включает в себя, в мас.%,

C: 0,60-0,80%,

Si: 1,00% или меньше,

Mn: 0,10-1,50%,

P: 0,050% или меньше,

S: 0,030% или меньше,

N: 0,0200% или меньше,

Al: 0-0,500%,

Cu: 0-0,50%,

Ni: 0-0,50%,

Cr: 0-0,50%,

V: 0-0,12%,

Ti: 0-0,010%,

Mo: 0-0,20%, и

Nb: 0-0,050%,

с остатком из железа и примесей,

и причем

в сечении части ступицы, полученном, когда в направлении центральной оси сквозного отверстия часть ступицы режется вдоль плоскости, которая включает в себя центральную ось,

когда области размером 15×15 мм, определенные множеством осевых линейных сегментов, которые параллельны центральной оси и расположены с шагом 15 мм в радиальном направлении железнодорожного колеса от внутренней периферийной поверхности сквозного отверстия, и множеством радиальных линейных сегментов, которые перпендикулярны центральной оси и расположены с шагом 15 мм в направлении центральной оси от поверхности части ступицы, которая является поверхностью, в которой формируется сквозное отверстие, определяются как прямоугольные области,

среднее значение концентрации C в каждой прямоугольной области в сечении части ступицы составляет менее 0,90 мас.%.
ПОЛЕЗНЫЕ ЭФФЕКТЫ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0016]

Железнодорожное колесо по настоящему изобретению обладает превосходной ударной вязкостью в части ступицы.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

[0017]

[Фиг. 1] Фиг. 1 представляет собой вид в сечении, включающий центральную ось

железнодорожного колеса в соответствии с настоящим вариантом осуществления.

[Фиг. 2] Фиг. 2 представляет собой схематическую диаграмму, иллюстрирующую точки измерения, где измерение выполняется с использованием ЕРМА в сечении части ступицы в сечении железнодорожного колеса, показанного на Фиг. 1.

[Фиг. 3] Фиг. 3 представляет собой вид в сечении части ступицы для описания способа расположения областей измерения ЕРМА.

[Фиг. 4] Фиг. 4 представляет собой схематическую диаграмму, иллюстрирующую способ производства железнодорожного колеса.

[Фиг. 5] Фиг. 5 представляет собой схематическую диаграмму, иллюстрирующую способ производства железнодорожного колеса в том случае, когда объемная доля вырубленной части является подходящей.

[Фиг. 6] Фиг. 6 представляет собой схематическую диаграмму, иллюстрирующую способ производства железнодорожного колеса в том случае, когда объемная доля вырубленной части является слишком малой.

ОПИСАНИЕ ВАРИАНТА ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

[0018]

[Конфигурация железнодорожного колеса]

Фиг. 1 представляет собой сечение, включающее центральную ось железнодорожного колеса 1 в соответствии с настоящим вариантом осуществления. Как показано на Фиг. 1, железнодорожное колесо 1 имеет дисковую форму и включает в себя часть 2 ступицы, часть 3 диска и часть 4 обода колеса. Часть 2 ступицы имеет цилиндрическую форму и расположена в средней части в радиальном направлении (направлении, перпендикулярном к центральной оси) железнодорожного колеса 1. Часть 2 ступицы имеет сквозное отверстие 21. Железнодорожная ось (не показана) вставляется в сквозное отверстие 21. Внутренняя периферийная поверхность 22 части 2 ступицы образует сквозное отверстие 21. Центральная ось сквозного отверстия 21 совпадает с центральной осью железнодорожного колеса 1. В настоящем описании направление центральной оси сквозного отверстия 21 и железнодорожного колеса 1 также упоминается просто как «направление центральной оси». Направление, которое перпендикулярно центральной оси железнодорожного колеса 1, упоминается как «радиальное направление железнодорожного колеса 1». В настоящем описании радиальное направление железнодорожного колеса 1 также упоминается просто как «радиальное направление».

[0019]

Часть 2 ступицы имеет сквозное отверстие 21. Часть 2 ступицы также имеет внутреннюю периферийную поверхность 22, образующую сквозное отверстие 21, поверхность 23 стороны гребня и поверхность 24 стороны профиля катания колеса. Поверхность 23 стороны гребня соединяется с внутренней периферийной поверхностью 22, и отверстие сквозного отверстия 21 формируется в поверхности 23 стороны гребня. Поверхность 24 стороны профиля катания колеса располагается на противоположной стороне от поверхности 23 стороны гребня и соединяется с внутренней периферийной

поверхностью 22, и сквозное отверстие 21 формируется в поверхности 24 стороны профиля катания колеса. Толщина T2 части 2 ступицы больше, чем толщина T3 части 3 диска.

[0020]

Часть 4 обода колеса формируется в краевой части по внешней окружности железнодорожного колеса 1. Часть 4 обода колеса включает в себя профиль 41 катания колеса и часть 42 гребня. Профиль 41 катания колеса соединяется с частью 42 гребня. Во время использования железнодорожного колеса 1 профиль 41 катания колеса и часть 42 гребня находятся в контакте с поверхностью рельса. Толщина T4 части 4 обода колеса больше, чем толщина T3 части 3 диска.

[0021]

Часть 3 диска располагается между частью 2 ступицы и частью 4 обода колеса и соединяется с частью 2 ступицы и частью 4 обода колеса. В частности, внутренняя круговая краевая часть части 3 диска соединяется с частью 2 ступицы, а внешняя круговая краевая часть части 3 диска соединяется с частью 4 обода колеса. Толщина T3 части 3 диска меньше, чем толщина T2 части 2 ступицы и толщина T4 части 4 обода колеса.

[0022]

[Техническая идея железнодорожного колеса по настоящему изобретению]

Авторы настоящего изобретения сначала провели исследования относительно подходящего химического состава для того, чтобы увеличить ударную вязкость части 2 ступицы. Авторы настоящего изобретения полагали, что пока содержание С ограничивается значением 0,80% или меньше, общая ударная вязкость железнодорожного колеса 1, включая часть 2 ступицы, может быть улучшена. Поэтому авторы настоящего изобретения изготовили железнодорожное колесо 1, в котором содержание С составляло 0,80% или меньше, и провели дополнительные исследования ударной вязкости части 2 ступицы.

[0023]

Авторы настоящего изобретения считали, что включения в части 2 ступицы влияют на ударную вязкость части 2 ступицы. Поэтому авторы настоящего изобретения провели подробные исследования включений в части 2 ступицы. Однако, авторы настоящего изобретения не смогли идентифицировать включения, влияющие на ударную вязкость части 2 ступицы.

[0024]

Поэтому авторы настоящего изобретения изменили свою точку зрения и провели исследование с химической точки зрения. Авторы настоящего изобретения разрезали часть 2 ступицы вдоль плоскости, которая включала в себя центральную ось железнодорожного колеса 1 и которая была параллельна центральной оси, чтобы тем самым получить сечение части 2 ступицы. На поверхности наблюдения концентрации основных элементов измерялись с помощью электронно-зондового микроанализатора (EPMA). Измерение с использованием EPMA выполнялось в произвольном множестве

мест на сечении части 2 ступицы. Фиг. 2 представляет собой схематическую диаграмму, иллюстрирующую точки измерения, в которых измерение с использованием ЕРМА было выполнено на сечении части 2 ступицы в сечении железнодорожного колеса 1, показанном на Фиг. 1. Как показано на Фиг. 2, сечение части 2 ступицы было разделено на множество прямоугольных областей Р размером 15×15 мм множеством осевых линейных сегментов, которые были параллельны центральной оси сквозного отверстия 21 и расположены с шагом 15 мм в радиальном направлении от внутренней периферийной поверхности 22 сквозного отверстия 21, и множеством радиальных линейных сегментов, которые были перпендикулярны центральной оси сквозного отверстия 21 и расположены с шагом 15 мм в направлении центральной оси сквозного отверстия 21 от поверхности 23 стороны гребня. Концентрации основных элементов в каждой прямоугольной области Р были измерены с использованием ЕРМА, и была определена средняя концентрация в каждой прямоугольной области Р. В результате было выявлено изменение концентрации углерода в части 2 ступицы.

[0025]

Среди множества прямоугольных областей Р в большинстве прямоугольных областей Р средняя концентрация С в прямоугольной области Р составляла менее 0,90 мас.%. Однако, среди множества прямоугольных областей Р имелись некоторые прямоугольные области Р, в которых концентрация С была высокой. В случае, когда концентрация С была высокой, средняя концентрация С в одной прямоугольной области Р составляла 0,90 мас.% или больше.

[0026]

Следующие факты были впервые выявлены в ходе измерительного теста с использованием ЕРМА, проведенного авторами настоящего изобретения. В части 2 ступицы железнодорожного колеса 1 концентрация С не обязательно постоянна, и в некоторых случаях концентрация С локально является высокой. В дополнение к этому, даже в железнодорожном колесе 1, имеющем химический состав, в котором общая концентрация С составляет 0,80% или меньше, в некоторых случаях концентрация С может локально достигать 0,90 мас.% или больше в части 2 ступицы.

[0027]

Поэтому авторы настоящего изобретения исследовали, каким образом изменяется ударная вязкость в том случае, когда концентрация С локально составляет 0,90 мас.% или больше. В частности, авторы настоящего изобретения изготовили слитки с помощью процесса изготовления слитков с использованием расплавленной стали, химический состав которой показан в Таблице 1. Здесь концентрации С в соответствующих стальных материалах варьировались, чтобы воспроизвести изменения концентраций углерода. Следует отметить, что пробел в столбце Таблицы 1 означает, что содержание соответствующего элемента меньше значения предела обнаружения. После нагрева каждого слитка до 1250°C была проведена горячая ковка с получением цилиндрического стального материала диаметром 40 мм и длиной 75 мм. Полученный цилиндрический

стальной материал подвергался термообработке, имитирующей условия производства части 2 ступицы железнодорожного колеса 1. В частности, после выполнения термообработки при 950°C в течение 30 мин цилиндрический стальной материал охлаждался со скоростью 0,01°C/с или меньше.

[0028]

[Таблица 1]

Стальной материал №	Химический состав (мас.%, с остатком из Fe и примесей)													
	C	Si	Mn	P	S	H	Al	Cu	Ni	Cr	V	Ti	Mo	Nb
1	0,71	0,29	0,79	0,014	0,010	0,0042	0,031	0,02	0,02	0,10			0,02	
2	0,72	0,29	0,78		0,001	0,0057	0,030					0,001		0,012
3	0,74	0,30	0,81	0,015	0,010	0,0039	0,002					0,002		
4	0,84	0,30	0,81	0,001	0,002	0,0038	0,032	0,01		0,02				
5	0,84	0,30	0,79	0,015	0,010	0,0037	0,027			0,10	0,08		0,01	
6	0,93	0,29	0,80	0,001	0,002	0,0042	0,032			0,01				
7	1,00	0,30	0,80	0,001	0,002	0,0040	0,034							
8	1,09	0,30	0,79	0,001	0,002	0,0040	0,036	0,01	0,01					

[0029]

Значения ударной вязкости по Шарпи были определены для оценки ударной вязкости стальных материалов №№ 1-8. В частности, образец для испытаний с U-образным надрезом в соответствии со стандартом JIS Z 2242 (2005) отбирался из центрального положения в сечении, перпендикулярном продольному направлению каждого стального материала. Сечение, перпендикулярное продольному направлению образца для испытаний с U-образным надрезом, представляло собой квадрат размером 10×10 мм, а длина в продольном направлении образца для испытаний с U-образным надрезом составляла 55 мм. Продольное направление образца для испытаний с U-образным надрезом было параллельно продольному направлению стального материала. U-образный надрез был сформирован в центральном положении по длине испытуемого образца с U-образным надрезом (то есть в центральном положении на длине 55 мм). Глубина надреза была установлена равной 2 мм, а радиус дна надреза был установлен равным 1 мм. Ударное испытание Шарпи проводилось в атмосфере при комнатной температуре в соответствии со стандартом JIS Z 2242 (2005). Значения ударной вязкости по Шарпи (Дж/см²) были определены для четырех образцов с U-образным надрезом для каждого номера стального материала, и среднее значение этих четырех значений принималось за значение ударной вязкости по Шарпи (Дж/см²) соответствующего стального материала. Результаты показаны в Таблице 2.

[0030]

[Таблица 2]

Стальной материал №	Концентрация C (мас.%)	Ударная вязкость по Шарпи (Дж/см ²)
1	0,71	12,2
2	0,72	13,4
3	0,74	10,6

4	0,84	7,2
5	0,84	7,4
6	0,93	5,6
7	1,00	5,2
8	1,09	4,1

[0031]

Как показано в Таблице 2, было обнаружено, что значения ударной вязкости по Шарпи (Дж/см^2) стальных материалов, в которых концентрация С составляла 0,90 мас.% или больше, были низкими по сравнению со значениями ударной вязкости по Шарпи (Дж/см^2) стальных материалов, в которых концентрация С была меньше чем 0,90 мас.%. Другими словами, в том случае, когда концентрация С менялась и локально становилась равной 0,90 мас.% или больше, ударная вязкость той части, где концентрация С составляла 0,90 мас.% или больше, была низкой по сравнению с той частью, где концентрация С была меньше чем 0,90 мас.%. На этом основании можно сказать, что среди множества прямоугольных областей Р в той прямоугольной области Р, в которой концентрация С является высокой, ударная вязкость является низкой по сравнению с окружающими прямоугольными областями Р.

[0032]

Поэтому авторы настоящего изобретения посчитали, что если вариации концентрации С в части 2 ступицы подавляются, и среднее значение концентрации С внутри каждой прямоугольной области Р контролируется так, чтобы оно составляло менее 0,90 мас.%, ударная вязкость части 2 ступицы может быть дополнительно увеличена.

[0033]

Железнодорожное колесо 1 по настоящему варианту осуществления, которое было создано на основе вышеизложенных результатов, имеет следующую конфигурацию.

[0034]

[1]

Железнодорожное колесо, включающее в себя:

часть обода колеса,

часть ступицы, имеющую сквозное отверстие, и

часть диска, которая располагается между частью обода колеса и частью ступицы и соединена с частью обода колеса и частью ступицы, причем

химический состав железнодорожного колеса включает в себя, в мас.%,

С: 0,60-0,80%,

Si: 1,00% или меньше,

Mn: 0,10-1,50%,

P: 0,050% или меньше,

S: 0,030% или меньше,

N: 0,0200% или меньше,

Al: 0-0,500%,

Cu: 0-0,50%,

Ni: 0-0,50%,
Cr: 0-0,50%,
V: 0-0,12%,
Ti: 0-0,010%,
Mo: 0-0,20%, и
Nb: 0-0,050%,

с остатком из железа и примесей,
и причем

в сечении части ступицы, полученном, когда в направлении центральной оси сквозного отверстия часть ступицы режется вдоль плоскости, которая включает в себя центральную ось,

когда области размером 15×15 мм, определенные множеством осевых линейных сегментов, которые параллельны центральной оси и расположены с шагом 15 мм в радиальном направлении железнодорожного колеса от внутренней периферийной поверхности сквозного отверстия, и множеством радиальных линейных сегментов, которые перпендикулярны центральной оси и расположены с шагом 15 мм в направлении центральной оси от поверхности части ступицы, которая является поверхностью, в которой формируется сквозное отверстие, определяются как прямоугольные области,

среднее значение концентрации С в каждой прямоугольной области в сечении части ступицы составляет менее 0,90 мас. %.

[0035]

[2]

Железнодорожное колесо по п. [1], содержащее один или более элементов, выбираемых из группы, состоящей из:

Al: 0,001-0,500%,
Cu: 0,01-0,50%,
Ni: 0,01-0,50%,
Cr: 0,01-0,50%,
V: 0,01-0,12%,
Ti: 0,001-0,010%,
Mo: 0,01-0,20%, и
Nb: 0,010-0,050%.

[0036]

Далее подробно описывается железнодорожное колесо 1 настоящего варианта осуществления. В настоящем описании, если не указано иное, символ «%» применительно к элементу означает массовый процент.

[0037]

Фиг. 4 представляет собой схематическую диаграмму, иллюстрирующую способ производства железнодорожного колеса 1. Одним примером способа производства железнодорожного колеса 1 является следующий. Производится стальной материал

дисковой формы 5 для железнодорожного колеса. Стальной материал дисковой формы 5 для железнодорожного колеса подвергается горячей ковке один или множество раз в направлении толщины для того, чтобы произвести промежуточный продукт 7, имеющий внешнюю форму железнодорожного колеса 1. По мере необходимости горячая прокатка (прокатка колеса) может быть выполнена после горячейковки. Центральная осевая часть 71 промежуточного продукта 7 удаляется путем вырубki так, чтобы ось могла проходить через него. В результате формируется промежуточный продукт 8, имеющий форму железнодорожного колеса. Промежуточный продукт 8 подвергается термической обработке (закалке профиля катания колеса). При закалке профиля катания колеса после нагревания промежуточного продукта 8 охлаждающая текучая среда распыляется на профиль 41 катания и часть 42 гребня части 4 обода колеса, чтобы быстро охладить профиль 41 катания и часть 42 гребня промежуточного продукта 8. В результате этого в матричной структуре поверхностной части профиля 41 катания колеса образуется троостит, который имеет высокую износостойкость. Однако, в поверхностной части профиля 41 катания колеса после закалки профиля катания колеса в слое над трооститом формируется закаленный слой, состоящий из мартенсита (или из мартенсита и бейнита). Этот закаленный слой, скорее всего, будет изнашиваться во время использования железнодорожного колеса 1. Поэтому после закалки профиля катания колеса закаленный слой, сформировавшийся во внешнем слое профиля 41 катания колеса, удаляется путем резания. Железнодорожное колесо 1 производится вышеописанным способом.

[0038]

[Химический состав железнодорожного колеса]

Как показано на Фиг. 1, железнодорожное колесо 1 настоящего варианта осуществления включает в себя часть 4 обода колеса, часть 2 ступицы, имеющую сквозное отверстие 21, и часть 3 диска, которая располагается между частью 4 обода колеса и частью 2 ступицы, и которая соединена с частью 4 обода колеса и частью 2 ступицы. Химический состав железнодорожного колеса 1 настоящего варианта осуществления содержит следующие элементы.

[0039]

C: 0,60-0,80%

Углерод (C) увеличивает твердость стали, и тем самым увеличивает износостойкость железнодорожного колеса 1. Если содержание C составляет менее 0,60%, этот эффект не может быть получен, даже если содержания других элементов находятся внутри диапазона настоящего варианта осуществления. С другой стороны, если содержание C составляет более 0,80%, то ударная вязкость железнодорожного колеса 1 уменьшится, даже если содержания других элементов находятся внутри диапазона настоящего варианта осуществления. Следовательно, содержание C должно составлять 0,60-0,80%. Предпочтительный нижний предел содержания C составляет 0,63%, более предпочтительно 0,65%, еще более предпочтительно 0,67%, и еще более предпочтительно 0,70%. Предпочтительный верхний предел содержания C составляет 0,79%, более

предпочтительно 0,78%, еще более предпочтительно 0,75%, и еще более предпочтительно 0,73%.

[0040]

Si: 1,00% или меньше

Кремний (Si) является неизбежной примесью. Другими словами, содержание Si составляет более 0%. Si способствует упрочнению твердого раствора феррита, и тем самым увеличивает твердость стали. Однако, если содержание Si составляет более 1,00%, ударная вязкость железнодорожного колеса 1 уменьшится, даже если содержания других элементов находятся внутри диапазона настоящего варианта осуществления. В дополнение к этому, если содержание Si составляет более 1,00%, прокаливаемость стали будет слишком высокой, и становится вероятным образование мартенсита. В таком случае толщина закаленного слоя, образующегося на профиле катания во время его закалки, увеличивается. В результате объем резания увеличивается, и выход уменьшается. Кроме того, если содержание Si составляет более 1,00%, часть 4 обода колеса будет подвергаться непредвиденной закалке фрикционной теплотой, образующейся между железнодорожным колесом 1 и тормозом во время использования железнодорожного колеса 1. В таком случае стойкость стали к растрескиванию может уменьшиться. Следовательно, содержание Si должно составлять 1,00% или меньше. Предпочтительный верхний предел содержания Si составляет 0,90%, более предпочтительно 0,80%, еще более предпочтительно 0,70%, еще более предпочтительно 0,60%, и наиболее предпочтительно 0,50%. Нижний предел содержания Si особенно не ограничивается. Однако, чрезмерное сокращение содержания Si будет увеличивать производственные затраты. Следовательно, нижний предел содержания Si предпочтительно составляет 0,01%, и более предпочтительно 0,05%. С точки зрения увеличения твердости стали нижний предел содержания Si еще более предпочтительно составляет 0,10%, и наиболее предпочтительно 0,15%.

[0041]

Mn: 0,10-1,50%

Марганец (Mn) способствует упрочнению твердого раствора феррита, и тем самым увеличивает твердость стали. В дополнение к этому, Mn формирует MnS и тем самым улучшает обрабатываемость стали. Если содержание Mn составляет менее 0,10%, даже если содержания других элементов находятся внутри диапазона настоящего варианта осуществления, эти эффекты не могут быть получены. С другой стороны, если содержание Mn составляет более 1,50%, даже если содержания других элементов находятся внутри диапазона настоящего варианта осуществления, прокаливаемость стали станет слишком высокой. В таком случае толщина закаленного слоя увеличивается, и выход в процессе производства уменьшается. Кроме того, часть обода колеса 4 будет подвергаться непредвиденной закалке фрикционной теплотой, образующейся между железнодорожным колесом 1 и тормозом во время использования железнодорожного колеса 1. В таком случае стойкость стали к растрескиванию может уменьшиться.

Следовательно, содержание Mn должно составлять 0,10-1,50%. Предпочтительный нижний предел содержания Mn составляет 0,50%, более предпочтительно 0,60%, и еще более предпочтительно 0,70%. Предпочтительный верхний предел содержания Mn составляет 1,40%, более предпочтительно 1,30%, еще более предпочтительно 1,20%, еще более предпочтительно 1,10%, еще более предпочтительно 1,00%, еще более предпочтительно 0,95%, и наиболее предпочтительно 0,90%.

[0042]

P: 0,050% или меньше

Фосфор (P) является примесью. P сегрегируется на границах зерна и уменьшает ударную вязкость стали. Следовательно, содержание P должно составлять 0,050% или меньше. Предпочтительный верхний предел содержания P составляет 0,030%, и более предпочтительно 0,020%. Содержание P предпочтительно является настолько низким, насколько это возможно. Содержание P может составлять 0%. Однако, чрезмерное сокращение содержания P будет увеличивать производственные затраты. Следовательно, если принять во внимание обычную промышленную производительность, предпочтительный нижний предел содержания P составляет 0,001%, и более предпочтительно 0,002%.

[0043]

S: 0,030% или меньше

Сера (S) является неизбежной примесью. Другими словами, содержание S составляет более 0%. S формирует MnS и тем самым улучшает обрабатываемость стали. С другой стороны, если содержание S будет слишком высоким, то ударная вязкость стали уменьшится. Поэтому содержание S должно составлять 0,030% или меньше. Предпочтительный верхний предел содержания S составляет 0,020%. Содержание S предпочтительно является настолько низким, насколько это возможно. Однако чрезмерное сокращение содержания S будет увеличивать производственные затраты. Следовательно, если принять во внимание обычную промышленную производительность, предпочтительный нижний предел содержания S составляет 0,001%, более предпочтительно 0,002%, и еще более предпочтительно 0,005%.

[0044]

N: 0,0200% или меньше

Азот (N) является примесью, которая неизбежно содержится. Таким образом, содержание N составляет более 0%. Если содержание N составляет более 0,0200%, даже если содержания других элементов находятся внутри диапазона настоящего варианта осуществления, AlN будет огрубляться, уменьшая тем самым ударную вязкость стали. Следовательно, содержание N должно составлять 0,0200% или меньше. Предпочтительный верхний предел содержания N составляет 0,0180%, более предпочтительно 0,0150%, еще более предпочтительно 0,0130%, еще более предпочтительно 0,0100%, и наиболее предпочтительно 0,0080%. Содержание N предпочтительно является настолько низким, насколько это возможно. Однако

чрезмерное сокращение содержания N будет увеличивать производственные затраты. Следовательно, если принять во внимание обычную промышленную производительность, предпочтительный нижний предел содержания N составляет 0,0010%, более предпочтительно 0,0030%, и еще более предпочтительно 0,0050%.

[0045]

Остаток химического состава железнодорожного колеса 1 в соответствии с настоящим вариантом осуществления представляет собой Fe и примеси. Здесь термин «примеси» относится к элементам, которые во время промышленного производства железнодорожного колеса 1 попадают в него из руды или используемого в качестве сырья лома, или из производственной среды и т.п., и которые могут содержаться в пределах такого диапазона, который не оказывает негативного влияния на железнодорожное колесо 1 настоящего варианта осуществления. Примером примеси, отличной от описанных выше, является O. Содержание O составляет, например, 0,0070% или меньше.

[0046]

[Необязательные элементы]

Химический состав железнодорожного колеса 1 настоящего варианта осуществления может дополнительно содержать один или более элементов, выбираемых из группы, состоящей из Al, Cu, Ni, Cr, V, Ti, Mo и Nb, вместо части Fe.

[0047]

Al: 0-0,500%

Алюминий (Al) является необязательным элементом и может не содержаться. Другими словами, содержание Al может составлять 0%. Когда Al содержится, он объединяется с N, формируя AlN, и измельчает зерна. Ударная вязкость стали при измельчении зерен улучшается. Однако, если содержание Al составляет более 0,500%, даже если содержания других элементов находятся внутри диапазона настоящего варианта осуществления, неметаллические включения будут увеличиваться, уменьшая ударную вязкость стали. Следовательно, содержание Al должно составлять 0-0,500%. Предпочтительный нижний предел содержания Al составляет более 0%, более предпочтительно 0,001%, еще более предпочтительно 0,005%, еще более предпочтительно 0,010%, еще более предпочтительно 0,020%, и еще более предпочтительно составляет 0,030%. Предпочтительный верхний предел содержания Al составляет 0,450%, более предпочтительно 0,400%, еще более предпочтительно 0,350%, еще более предпочтительно 0,300%, еще более предпочтительно 0,250%, и наиболее предпочтительно 0,200%. В настоящем изобретении термин «содержание Al» означает содержание растворимого в кислоте Al (растворимого Al).

[0048]

Cu: 0-0,50%

Медь (Cu) является опциональным элементом и может не содержаться. Другими словами, содержание Cu может составлять 0%. Когда Cu содержится, она увеличивает твердость стали за счет упрочнения твердого раствора. В результате износостойкость

железнодорожного колеса 1 увеличивается. Однако, если содержание Si составляет более 0,50%, горячая обрабатываемость стали уменьшается, даже если содержания других элементов находятся внутри диапазона настоящего варианта осуществления. Следовательно, содержание Si должно составлять 0-0,50%. Предпочтительный нижний предел содержания Si составляет больше чем 0%, более предпочтительно 0,01%, еще более предпочтительно 0,02%, еще более предпочтительно 0,05%, и наиболее предпочтительно 0,10%. Предпочтительный верхний предел содержания Si составляет 0,45%, более предпочтительно 0,40%, еще более предпочтительно 0,35%, еще более предпочтительно 0,30%, и наиболее предпочтительно 0,25%.

[0049]

Ni: 0-0,50%

Никель (Ni) является опциональным элементом и может не содержаться. Другими словами, содержание Ni может составлять 0%. Когда Ni содержится, он увеличивает ударную вязкость стали. Однако, если содержание Ni составляет более 0,50%, даже если содержания других элементов находятся внутри диапазона настоящего варианта осуществления, прокаливаемость будет чрезмерно высокой, и толщина закаленного слоя после закалки профиля катания колеса увеличится чрезмерно. Следовательно, содержание Ni должно составлять 0-0,50%. Предпочтительный нижний предел содержания Ni составляет больше чем 0%, более предпочтительно 0,01%, и еще более предпочтительно 0,05%. Предпочтительный верхний предел содержания Ni составляет 0,45%, более предпочтительно 0,40%, еще более предпочтительно 0,35%, еще более предпочтительно 0,30%, еще более предпочтительно 0,25%, и наиболее предпочтительно 0,20%.

[0050]

Cr: 0-0,50%

Хром (Cr) является опциональным элементом и может не содержаться. Другими словами, содержание Cr может составлять 0%. Когда Cr содержится, он уменьшает расстояние между пластинками перлита. Это значительно увеличивает твердость перлита. Однако, если содержание Cr составляет более 0,50%, даже если содержания других элементов находятся внутри диапазона настоящего варианта осуществления, прокаливаемость будет чрезмерно высокой, и толщина закаленного слоя после закалки профиля катания колеса увеличится чрезмерно. Следовательно, содержание Cr должно составлять 0-0,50%. Предпочтительный нижний предел содержания Cr составляет больше чем 0%, более предпочтительно 0,01%, еще более предпочтительно 0,02%, еще более предпочтительно 0,03%, и наиболее предпочтительно 0,05%. Предпочтительный верхний предел содержания Cr составляет 0,45%, более предпочтительно 0,40%, еще более предпочтительно 0,35%, еще более предпочтительно 0,30%, еще более предпочтительно 0,25%, и наиболее предпочтительно 0,20%.

[0051]

V: 0-0,12%

Ванадий (V) является опциональным элементом и может не содержаться. Другими

словами, содержание V может составлять 0%. Когда V содержится, он образует карбиды, нитриды и карбонитриды, и тем самым способствует дисперсионному твердению стали (в частности, феррита в стали). В результате твердость железнодорожного колеса 1 увеличивается, и износостойкость улучшается. Однако, если содержание V составляет более 0,12%, даже если содержания других элементов находятся внутри диапазона настоящего варианта осуществления, прокаливаемость будет высокой, и толщина закаленного слоя после закалки профиля катания колеса увеличится чрезмерно. Следовательно, содержание V должно составлять 0-0,12%. Предпочтительный нижний предел содержания V составляет больше чем 0 мас.%, более предпочтительно 0,01 мас.%, еще более предпочтительно 0,02 мас.%, и еще более предпочтительно 0,03 мас.%. Предпочтительный верхний предел содержания V составляет 0,11%, более предпочтительно 0,10%, и еще более предпочтительно 0,08%.

[0052]

Ti: 0-0,010%

Титан (Ti) является опциональным элементом, и может не содержаться. Другими словами, содержание Ti может составлять 0%. Когда Ti содержится, он образует карбиды, нитриды и карбонитриды, и тем самым способствует дисперсионному твердению стали (в частности, феррита в стали). В результате твердость железнодорожного колеса 1 увеличивается, и износостойкость улучшается. Однако если содержание Ti составляет более 0,010%, даже если содержания других элементов находятся внутри диапазона настоящего варианта осуществления, прокаливаемость становится высокой, и толщина закаленного слоя после закалки профиля катания колеса увеличится чрезмерно. Следовательно, содержание Ti должно составлять 0-0,010%. Предпочтительный нижний предел содержания Ti составляет больше чем 0 мас.%, более предпочтительно 0,001 мас.%, еще более предпочтительно 0,002 мас.%, и еще более предпочтительно 0,003 мас.%. Предпочтительный верхний предел содержания Ti составляет 0,008%, более предпочтительно 0,007%, и еще более предпочтительно 0,005%.

[0053]

Mo: 0-0,20%

Молибден (Mo) является опциональным элементом и может не содержаться. Другими словами, содержание Mo может составлять 0%. Когда Mo содержится, он увеличивает твердость стали. В результате износостойкость железнодорожного колеса 1 улучшается. Однако, если содержание Mo составляет более 0,20%, даже если содержания других элементов находятся внутри диапазона настоящего варианта осуществления, прокаливаемость будет чрезмерно высокой, и толщина закаленного слоя после закалки профиля катания колеса увеличится чрезмерно. Следовательно, содержание Mo должно составлять 0-0,20%. Предпочтительный нижний предел содержания Mo составляет больше чем 0%, более предпочтительно 0,01%, и еще более предпочтительно 0,05%. Предпочтительный верхний предел содержания Mo составляет 0,18%, более предпочтительно 0,15%, еще более предпочтительно 0,12%, еще более предпочтительно

0,10%, и наиболее предпочтительно 0,05%.

[0054]

Nb: 0-0,050%

Ниобий (Nb) является опциональным элементом и может не содержаться. Другими словами, содержание Nb может составлять 0%. Когда Nb содержится, он объединяется с С, формируя тонкий NbС во время нагревания для закалки профиля катания колеса в процессе производства железнодорожного колеса 1. Тонкий NbС действует в качестве скрепляющих частиц, подавляя огрубление аустенита во время нагревания. По этой причине аустенитные зерна остаются мелкими, и таким образом прокаливаемость стали не становится высокой. В результате подавляется образование закаленного слоя в процессе производства железнодорожного колеса 1. Nb также улучшает ударную вязкость стального материала, подавляя огрубление предаустенитных зерен. С другой стороны, если содержание Nb составляет более 0,050%, даже если содержания других элементов находятся внутри диапазона настоящего варианта осуществления, то NbС будет огрубляться, и ударная вязкость стального материала, наоборот, уменьшится. Следовательно, содержание Nb должно составлять 0-0,050%. Предпочтительный нижний предел содержания Nb составляет больше чем 0%, более предпочтительно 0,010%, и еще более предпочтительно 0,020%. Предпочтительный верхний предел содержания Nb составляет 0,030%, и более предпочтительно 0,020%.

[0055]

[Вариации концентрации С в части ступицы]

Вариации концентрации С внутри части 2 ступицы железнодорожного колеса 1 настоящего варианта осуществления являются малыми. В частности, в сечении части 2 ступицы, которое получается, когда часть 2 ступицы режется в направлении центральной оси сквозного отверстия 21 вдоль плоскости, которая включает в себя центральную ось, когда области размером 15×15 мм, которые определяются множеством осевых линейных сегментов, которые параллельны центральной оси и расположены с шагом 15 мм в радиальном направлении от внутренней периферийной поверхности 22 сквозного отверстия 21, и множеством радиальных линейных сегментов, которые перпендикулярны центральной оси и расположены с шагом 15 мм в направлении центральной оси от той поверхности части 2 ступицы, в которой формируется сквозное отверстие 21, определяются как прямоугольные области Р, среднее значение концентрации С в каждой прямоугольной области Р в сечении части 2 ступицы составляет менее 0,90 мас.%. В железнодорожном колесе 1 настоящего варианта осуществления в части 2 ступицы нет прямоугольных областей размером 15×15 мм, в которых среднее значение концентрации С составляло бы 0,90 мас.% или больше. Следовательно, ударная вязкость является высокой во всей области в части 2 ступицы. В результате железнодорожное колесо 1 настоящего варианта осуществления обладает превосходной ударной вязкостью в части 2 ступицы.

[0056]

Вариации концентрации C в части 2 ступицы измеряются следующим способом. Железнодорожное колесо 1 режется вдоль плоскости, которая параллельна центральной оси железнодорожного колеса 1 и включает в себя центральную ось, чтобы тем самым получить сечение части 2 ступицы. Полученное сечение части 2 ступицы полируется механически или ионным пучком и т.п., чтобы получить гладкую поверхность наблюдения. Концентрация C в наблюдаемой поверхности измеряется с использованием ЕРМА. Область измерения ЕРМА представляет собой прямоугольник размером 15 мм х 15 мм. Фиг. 3 представляет собой сечение части 2 ступицы для описания способа измерения с использованием ЕРМА. Как показано на Фиг. 3, в сечении часть 2 ступицы разделяется на секции множеством осевых линейных сегментов $L1$ и множеством радиальных линейных сегментов $L2$. Осевые линейные сегменты $L1$ параллельны центральной оси сквозного отверстия 21 и располагаются с шагом 15 мм в радиальном направлении от внутренней периферийной поверхности 22 сквозного отверстия 21. Радиальные линейные сегменты $L2$ перпендикулярны центральной оси сквозного отверстия 21 и располагаются с шагом 15 мм в направлении центральной оси от той поверхности части 2 ступицы, в которой формируется сквозное отверстие 21. На Фиг. 3 радиальные линейные сегменты $L2$ располагаются от поверхности 24 стороны профиля катания колеса. Однако, радиальные линейные сегменты $L2$ могут быть расположены от поверхности 23 стороны гребня. Области размером 15×15 мм, определяемые осевыми линейными сегментами $L1$ и радиальными линейными сегментами $L2$, определяются как прямоугольные области P . ЕРМА используется для получения средней концентрации C в каждой прямоугольной области P и для определения вариаций концентрации C . Как показано на Фиг. 3, в прямоугольных областях P , которые включают в себя внешнюю окружность части 2 ступицы, в некоторых случаях часть 2 ступицы не включается во всю площадь прямоугольной области P . В таком случае, если площадь, занимаемая частью 2 ступицы в прямоугольной области P , составляет 50% или более, соответствующая прямоугольная область P принимается в качестве цели измерения. Следует отметить, что, в настоящем описании термин «часть 2 ступицы» относится к той области в сечении, получаемом, когда железнодорожное колесо 1 режется в направлении центральной оси железнодорожного колеса 1 вдоль плоскости, которая включает в себя центральную ось, которая простирается от внутренней периферийной поверхности 22 до положения, где линейное расстояние между двумя точками, которые находятся на внешней окружности железнодорожного колеса 1 и которые пересекаются с прямой линией, параллельной центральной оси железнодорожного колеса 1, становится равным половине толщины $T2$ части 2 ступицы. На Фиг. 3 эти две точки, которые находятся на внешней окружности железнодорожного колеса 1 и которые пересекаются с прямой линией, параллельной центральной оси железнодорожного колеса 1, показаны как точка пересечения A и точка пересечения B , соответственно. Как показано на Фиг. 3, термин «часть 2 ступицы» относится к области, которая в сечении, получаемом, когда железнодорожное колесо 1 режется в направлении центральной оси железнодорожного колеса 1 вдоль плоскости,

которая включает в себя центральную ось, простирается от внутренней периферийной поверхности 22 до положения, в котором линейное расстояние между точками пересечения А и В становится равным половине толщины Т2 части 2 ступицы. Если средняя концентрация С в каждой прямоугольной области Р составляет менее 0,90 мас.% во всех прямоугольных областях Р, которые являются объектами измерения, считается, что вариации концентрации С в части 2 ступицы малы.

[0057]

[Микроструктура железнодорожного колеса]

Микроструктура части обода колеса 4, части 3 диска и части 2 ступицы железнодорожного колеса 1 настоящего варианта осуществления может представлять собой микроструктуру, состоящую по существу из перлита. Здесь фраза «состоящая по существу из перлита» означает, что доля площади перлита в микроструктуре составляет 95% или больше. Однако, даже если выделяется доэвтектоидный феррит, он не будет влиять на ударную вязкость. Следовательно, микроструктура части обода колеса 4, части 3 диска и части 2 ступицы железнодорожного колеса 1 настоящего варианта осуществления может представлять собой микроструктуру, в которой доля площади доэвтектоидного феррита составляет 0-25%, а остаток является перлитом.

[0058]

Доля площади перлита определяется следующим способом. Образцы берутся из центрального положения в направлении толщины части 4 обода, центрального положения в направлении толщины части 3 диска и центрального положения в направлении толщины части 2 ступицы железнодорожного колеса 1. Поверхность наблюдения каждого образца зеркально полируется механическим образом. После этого поверхность наблюдения травится раствором нитая (смешанным раствором азотной кислоты и этанола). Фотоизображение создается с помощью оптического микроскопа с увеличением 500х для произвольного поля зрения (размером 200×200 мкм) на поверхности наблюдения после травления. Контрасты закаленного слоя (мартенсита и/или бейнита) и перлита отличаются друг от друга. Следовательно, закаленный слой и перлит в поверхности наблюдения идентифицируются по контрасту. Доля площади перлита определяется на основе общей площади идентифицированного перлита и площади поверхности наблюдения.

[0059]

Как было описано выше, в железнодорожном колесе 1 настоящего варианта осуществления содержание каждого элемента в химическом составе находится внутри диапазона настоящего варианта осуществления, и когда в сечении части 2 ступицы, получаемом, когда часть 2 ступицы режется в направлении центральной оси сквозного отверстия 21 вдоль плоскости, которая включает в себя центральную ось, области размером 15×15 мм, которые определяются множеством осевых линейных сегментов L1, которые параллельны центральной оси и расположены с шагом 15 мм в радиальном направлении железнодорожного колеса 1 от внутренней периферийной поверхности 22 сквозного отверстия 21, и множеством радиальных линейных сегментов L2, которые

перпендикулярны центральной оси и расположены с шагом 15 мм в направлении центральной оси от той поверхности части 2 ступицы, в которой формируется сквозное отверстие 21, определяются как прямоугольные области Р, среднее значение концентрации С в каждой прямоугольной области Р в сечении части 2 ступицы составляет менее 0,90 мас.%. Следовательно, часть 2 ступицы обладает превосходной ударной вязкостью.

[0060]

[Способ производства железнодорожного колеса]

Далее будет описан один пример способа производства вышеупомянутого железнодорожного колеса 1. Настоящий способ производства включает в себя процесс производства стального материала 5 для железнодорожного колеса (процесс производства исходного материала), процесс формирования промежуточного продукта 8, имеющего форму колеса, из этого стального материала 5 с помощью горячей обработки (процесс формования), процесс выполнения термической обработки (закалки профиля катания колеса) сформированного промежуточного продукта 8 (процесс термической обработки), и процесс удаления резанием закаленного слоя с профиля 41 катания колеса и т.п. промежуточного продукта 8 после термической обработки, чтобы тем самым получить железнодорожное колесо 1 (процесс резания). Каждый из этих процессов описывается далее.

[0061]

[Процесс производства исходного материала]

В процессе производства исходного материала после выплавки расплавленной стали, имеющей описанный выше химический состав, с использованием электрической печи, конвертера и т.п. расплавленная сталь разливается для получения литого материала (отливки или слитка). Отливка может быть получена методом непрерывной разливки, а слиток можно изготовить путем литья в изложницу.

[0062]

Отливка или слиток подвергается горячей обработке для производства стального материала 5 для железнодорожного колеса, имеющего желаемый размер. Горячая обработка представляет собой, например, горячую ковку или горячую прокатку. В случае производства стального материала 5 для железнодорожного колеса, например, горячей прокаткой стальной материал 5 для железнодорожного колеса производится следующим способом. При горячей прокатке, например, используется блюминговый стан. Исходный материал подвергается блюмингу на блюминговом стане для получения стального материала 5 для железнодорожного колеса. В том случае, когда после блюмингового стана установлен непрерывный стан, стальной материал после блюминга может быть дополнительно подвергнут горячей прокатке с использованием непрерывного стана для производства стального материала 5 для железнодорожного колеса еще меньшего размера. В непрерывном стане поочередно расположены в ряд горизонтальная клеть, имеющая пару горизонтальных валков, и вертикальная клеть, имеющая пару

вертикальных валков. Хотя это и не является особым ограничением, температура нагрева нагревательной печи при горячей прокатке составляет, например, 1100-1350°C. Стальной материал 5 для железнодорожного колеса производится с помощью вышеописанного процесса производства.

[0063]

Следует отметить, что стальной материал 5 для железнодорожного колеса может быть литым материалом (отливкой или слитком). Стальной материал 5 для железнодорожного колеса может быть стальным материалом, получаемым путем резания цилиндрического литого материала на круглые плиты перпендикулярно к осевому направлению. Таким образом, описанная выше горячая обработка может быть опущена. Стальной материал 5 для железнодорожного колеса, который является исходным материалом для железнодорожного колеса 1, производится с помощью вышеописанных процессов. Стальной материал 5 для железнодорожного колеса является, например, исходным материалом, имеющим цилиндрическую форму.

[0064]

[Процесс формования]

В процессе формования готовый стальной материал 5 для железнодорожного колеса используется, для формования промежуточного продукта 8, имеющего форму колеса, с помощью горячей обработки. Поскольку промежуточный продукт 8 имеет форму колеса, он включает в себя часть 2 ступицы, часть 3 диска и часть обода колеса 4, включающую в себя профиль 41 катания колеса и часть 42 гребня. Горячая обработка представляет собой, например, горячую ковку, горячую прокатку (прокатку колеса) и т.п. В качестве одного из примеров, если выполняется описанный ниже процесс формования, вариации концентрации С в части 2 ступицы могут быть обеспечены малыми.

[0065]

Фиг. 4 представляет собой схематическую диаграмму, иллюстрирующую способ производства железнодорожного колеса 1. Как показано на Фиг. 4, промежуточный продукт 6 дисковой формы производится путем подвергания стального материала 5 для железнодорожного колеса горячей ковке. Путем выполнения дополнительной горячейковки промежуточного продукта 6 дисковой формы производится промежуточный продукт 7, имеющий внешнюю форму колеса. По мере необходимости горячая прокатка (прокатка колеса) может быть выполнена после горячейковки. Затем центральная осевая часть 71 промежуточного продукта 7, имеющего внешнюю форму колеса, удаляется путем вырубания. Таким образом производится промежуточный продукт 8, имеющий форму колеса.

[0066]

Авторы настоящего изобретения обнаружили, что вариации концентрации С в части 2 ступицы могут быть подавлены путем регулирования объема центральной осевой части 71 промежуточного продукта 7, имеющего внешнюю форму колеса (далее называемой «центральной осевой частью 71»), по отношению к объему стального

материала 5 для железнодорожного колеса. Хотя причина этого не ясна, например, можно предположить, что она заключается в следующем.

[0067]

В настоящем описании объем центральной осевой части 71 относительно объема стального материала 5 для железнодорожного колеса упоминается как «объемная доля вырубленной части». Объемная доля вырубленной части определяется следующей Формулой (i).

$$(D71^2 \times T71)/(D5^2 \times T5) \text{ (i)}$$

В Формуле (i) диаметр (см) центральной осевой части 71 обозначен как D71, толщина (см) центральной осевой части 71 обозначена как T71, диаметр (см) стального материала 5 для железнодорожного колеса обозначен как D5, и толщина (см) стального материала 5 для железнодорожного колеса обозначена как T5.

[0068]

Фиг. 5 представляет собой схематическую диаграмму, иллюстрирующую способ производства железнодорожного колеса 1 в том случае, когда объемная доля вырубленной части является подходящей. Как показано на Фиг. 5, центральная осевая часть стального материала 5 для железнодорожного колеса выдавливается при горячей обработке и расширяется и распространяется в радиальном направлении стального материала 5 для железнодорожного колеса. Когда объемная доля вырубленной части является подходящей, объем центральной осевой части 71 относительно объема стального материала 5 для железнодорожного колеса является достаточно большим. В этом случае напряжение в части 2 ступицы, вызванное горячей обработкой, является малым.

[0069]

Фиг. 6 представляет собой схематическую диаграмму, иллюстрирующую способ производства железнодорожного колеса 1 в том случае, когда объемная доля вырубленной части является слишком малой. Как показано на Фиг. 6, в том случае, когда объемная доля вырубленной части является слишком малой, объем центральной осевой части 71 относительно объема стального материала 5 для железнодорожного колеса является слишком малым. В этом случае, по сравнению со случаем, в котором объемная доля вырубленной части является подходящей, из-за того, что часть 2 ступицы подвергается более сильному сжатию, напряжение в части 2 ступицы, вызванное горячей обработкой, является большим. Считается, что в тех областях, где возникает напряжение, образуются локальные вариации концентрации C.

[0070]

Авторы настоящего изобретения провели исследование относительно объемной доли вырубленной части и вариаций концентрации C в части 2 ступицы. В частности, авторы настоящего изобретения изготовили железнодорожные колеса 1, в которых объемные доли вырубленной части были различными, и выяснили, имеются ли вариации концентрации C. В результате, как описано в Примерах ниже, авторы настоящего изобретения установили, что, например, если объемная доля вырубленной части

составляет 0,07% или больше, вариации концентрации С в части 2 ступицы могут быть подавлены. Другими словами, за счет обеспечения объемной доли вырубленной части, равной 0,07% или больше, напряжение в части 2 ступицы может быть подавлено, и вариации концентрации С могут быть подавлены.

[0071]

Как было описано выше, в способе производства железнодорожного колеса 1 по настоящему изобретению объемная доля вырубленной части во время горячей обработки доводится до 0,07% или больше. За счет этого напряжение в части 2 ступицы подавляется, и вариации концентрации С в части 2 ступицы могут быть подавлены. В результате ударная вязкость железнодорожного колеса 1 увеличивается.

[0072]

Предпочтительная температура нагрева стального материала 5 для железнодорожного колеса во время горячей обработки составляет 1220°C или больше. Способ охлаждения промежуточного продукта после горячей обработки особенно не ограничивается. Промежуточный продукт может остывать естественным образом или может охлаждаться водой.

[0073]

[Процесс термической обработки]

В процессе термической обработки сформированный промежуточный продукт 8, имеющий форму колеса, подвергается закалке профиля катания (обода). В частности, промежуточный продукт 8 после процесса формования (горячейковки или горячей прокатки) повторно нагревается до точки превращения A_{cm} или выше (обработка повторного нагрева). После нагревания профиль 41 катания и гребень 42 промежуточного продукта 8 подвергаются быстрому охлаждению (закалка профиля катания колеса). Например, профиль 41 катания и гребень 42 быстро охлаждаются путем распыления охлаждающего агента. Охлаждающий агент представляет собой, например, воздух, туман или спрей, и особенно не ограничивается, если может быть получена скорость охлаждения, подходящая для желаемой структуры. Следует отметить, что во время закалки профиля катания колеса часть 3 диска и часть 2 ступицы могут охлаждаться без применения воды.

[0074]

Хотя в вышеприведенном описании промежуточный продукт 8 повторно нагревается, промежуточный продукт 8 после горячей обработки может быть непосредственно подвергнут закалке профиля катания колеса (без повторного нагрева).

[0075]

Промежуточный продукт 8 после закалки профиля катания колеса подвергается отпуску по мере необходимости. Достаточно, чтобы отпуск выполнялся при известной температуре в течение известного времени. Температура отпуска составляет, например, 400-600°C.

[0076]

[Процесс резания]

Как было описано выше, в то время как троостит формируется в наружном слое профиля 41 катания колеса промежуточного продукта 8 после термической обработки, над ним формируется закаленный слой. Поскольку износостойкость закаленного слоя является низкой во время использования железнодорожного колеса 1, закаленный слой удаляется путем резания. Достаточно, чтобы резание выполнялось известным способом.

[0077]

Железнодорожное колесо 1 настоящего варианта осуществления производится с помощью вышеописанных процессов. В железнодорожном колесе 1 настоящего варианта осуществления содержание каждого элемента в химическом составе находится внутри диапазона настоящего варианта осуществления, и когда в сечении части 2 ступицы, получаемом, когда часть 2 ступицы режется в направлении центральной оси сквозного отверстия 21 вдоль плоскости, которая включает в себя центральную ось, области размером 15×15 мм, которые определяются множеством осевых линейных сегментов L1, которые параллельны центральной оси и расположены с шагом 15 мм в радиальном направлении от внутренней периферийной поверхности 22 сквозного отверстия 21, и множеством радиальных линейных сегментов L2, которые перпендикулярны центральной оси и расположены с шагом 15 мм в направлении центральной оси от той поверхности части 2 ступицы, в которой формируется сквозное отверстие 21, определяются как прямоугольные области P, среднее значение концентрации C в каждой прямоугольной области P в сечении части 2 ступицы составляет менее 0,90 мас.%. Следовательно, часть 2 ступицы обладает превосходной ударной вязкостью.

ПРИМЕРЫ

[0078]

Были исследованы вариации концентрации C в части ступицы относительно объемной доли вырубленной части. В частности, была произведена расплавленная сталь, состоящая из C: 0,71%, Si: 0,30%, Mn: 0,80%, P: 0,010%, S: 0,010%, N: 0,0040%, Al: 0,030%, Cu: 0,02%, Ni: 0,02%, Cr: 0,10% и Mo: 0,02%, с остатком из железа и примесей. Вышеупомянутая расплавленная сталь использовалась для того, чтобы произвести слитки (цилиндрический стальной материал, имеющий диаметр 46 см и толщину 50 см) с помощью процесса изготовления слитка, которые моделировали процесс производства исходного материала процесса производства железнодорожного колеса. Каждый слиток нагревался до 1250°C, после чего подвергался горячей ковке один раз для того, чтобы произвести промежуточный продукт дисковой формы, имеющий диаметр 87 см и толщину 14 см. Каждый промежуточный продукт дисковой формы подвергался ковке еще один раз, чтобы произвести промежуточный продукт, имеющий внешнюю форму железнодорожного колеса с диаметром 97 см, в котором толщина (T4) части обода колеса составляла 15 см, ширина части обода колеса составляла 9 см, толщина (T3) части диска составляла 5 см, ширина части диска составляла 26 см, толщина (T2) части ступицы составляла 7 см, и ширина части ступицы составляла 20 см. Были произведены

промежуточные продукты, имеющие форму железнодорожного колеса,, в которых объемная доля вырубленной части составляла 0,20% или 0,05%, и было проверено, имеются ли вариации концентрации С в части ступицы.

[0079]

Промежуточные продукты, имеющие форму железнодорожного колеса, в которых варьировалась объемная доля вырубленной части, были подвергнуты закалке профиля катания колеса, после чего закаленный слой был срезан для того, чтобы произвести железнодорожные колеса. Каждое из полученных железнодорожных колес резалось в направлении центральной оси сквозного отверстия вдоль плоскости, которая включала в себя центральную ось. Сечение части ступицы затем подвергалось механическому полированию, чтобы получить гладкую поверхность наблюдения. Сечение части ступицы было разделено на секции множеством осевых линейных сегментов, которые были параллельны центральной оси сквозного отверстия и расположены с шагом 15 мм в радиальном направлении от внутренней периферийной поверхности сквозного отверстия, и множеством радиальных линейных сегментов, которые были перпендикулярны центральной оси сквозного отверстия и расположены с шагом 15 мм в направлении центральной оси от той поверхности части ступицы, в которой было сформировано сквозное отверстие. Полученные таким образом области размером 15 × 15 мм были определены как прямоугольные области Р. Среднее значение концентрации С в каждой прямоугольной области Р было измерено с использованием ЕРМА. Самая высокая концентрация С среди полученных средних значений концентрации С показана в колонке «Макс. Концентрация С (мас.%)» в Таблице 3.

[0080]

[Таблица 3]

№ теста	Объемная доля вырубленной части (%)	Макс. концентрация С (мас.%)
1	0,20	0,84
2	0,05	0,93

[0081]

[Ударное испытание Шарпи]

Ударное испытание Шарпи проводилось для исследования взаимосвязи между концентрацией С и ударной вязкостью. Были подготовлены стальные материалы, имеющие химические составы, показанные в Таблице 4. Пробел в столбце Таблицы 4 означает, что содержание соответствующего элемента меньше значения предела обнаружения. Содержания С в соответствующих стальных материалах регулировались так, чтобы соответствовать максимальной концентрации С в Таблице 3. Форма каждого стального материала представляла собой цилиндр с диаметром 20 мм и длиной 125 мм.

[0082]

[Таблица 4]

№ теста	Химический состав (мас.%, с остатком из Fe и примесей)								
	С	Si	Mn	P	S	H	Al	Cu	Cr
1	0,84	0,30	0,81	0,001	0,002	0,0038	0,032	0,01	0,02

2	0,93	0,29	0,80	0,001	0,002	0,0042	0,032	0,01
---	------	------	------	-------	-------	--------	-------	------

[0083]

Значения ударной вязкости по Шарпи были определены для оценки ударной вязкости стальных материалов №№ 1 и 2. В частности, образец для испытаний с U-образным надрезом в соответствии со стандартом JIS Z 2242 (2005) отбирался из центрального положения в сечении, перпендикулярном продольному направлению каждого стального материала. Сечение, перпендикулярное продольному направлению образца для испытаний с U-образным надрезом, представляло собой квадрат размером 10 × 10 мм, а длина в продольном направлении образца для испытаний с U-образным надрезом составляла 55 мм. Продольное направление образца для испытаний с U-образным надрезом было параллельно продольному направлению стального материала. U-образный надрез был сформирован в центральном положении по длине испытуемого образца с U-образным надрезом (то есть в центральном положении на длине 55 мм). Глубина надреза была установлена равной 2 мм, а радиус дна надреза был установлен равным 1 мм. Ударное испытание Шарпи проводилось в атмосфере при комнатной температуре в соответствии со стандартом JIS Z 2242 (2005). Значения ударной вязкости по Шарпи (Дж/см²) были определены для четырех образцов с U-образным надрезом для каждого номера теста, и среднее значение этих четырех значений принималось за значение ударной вязкости по Шарпи (Дж/см²) соответствующего номера теста. Результаты показаны в Таблице 5.

[0084]

[Таблица 5]

№ теста	Объемная доля вырубленной части (%)	Макс. концентрация С (мас.%)	Ударная вязкость по Шарпи (Дж/см ²)
1	0,20	0,84	7,2
2	0,05	0,93	5,6

[0085]

[Результаты оценки]

Как видно из Таблицы 5, в Тесте № 1 объемная доля вырубленной части составляла 0,07% или больше. Следовательно, вариации концентрации С в части ступицы были подавлены. В частности, в сечении части ступицы, полученном, когда часть 2 ступицы была разрезана в направлении центральной оси сквозного отверстия вдоль плоскости, которая включает в себя центральную ось, когда области размером 15 × 15 мм, которые определялись множеством осевых линейных сегментов, которые были параллельны центральной оси и расположены с шагом 15 мм в радиальном направлении от внутренней периферийной поверхности сквозного отверстия, и множеством радиальных линейных сегментов, которые были перпендикулярны центральной оси и расположены с шагом 15 мм в направлении центральной оси от той поверхности части ступицы, в которой было сформировано сквозное отверстие, определялись как прямоугольные области Р, среднее значение концентрации С в каждой прямоугольной области Р в сечении части 2 ступицы составляло менее 0,90 мас.%. В дополнение к этому, ударная вязкость по Шарпи в том

случае, когда концентрация C была меньше чем 0,90 мас.%, составила 6,0 (Дж/см²) или больше. Таким образом, в железнодорожном колесе Теста № 1, поскольку среднее значение концентрации C в каждой прямоугольной области P в части ступицы было меньше чем 0,90 мас.%, ударная вязкость по Шарпи была равна 6,0 (Дж/см²) или больше во всей области в части ступицы. Следовательно, часть ступицы железнодорожного колеса, произведенного согласно условиям Теста №1, имела превосходную ударную вязкость.

[0086]

С другой стороны, в Тесте №2 объемная доля вырубленной части составляла менее 0,07%. Следовательно, вариации концентрации C в части ступицы не могли быть подавлены. В частности, в сечении части ступицы, полученном, когда часть 2 ступицы была разрезана в направлении центральной оси сквозного отверстия вдоль плоскости, которая включает в себя центральную ось, когда области размером 15 × 15 мм, которые определялись множеством осевых линейных сегментов, которые были параллельны центральной оси и расположены с шагом 15 мм в радиальном направлении от внутренней периферийной поверхности сквозного отверстия, и множеством радиальных линейных сегментов, которые были перпендикулярны центральной оси и расположены с шагом 15 мм в направлении центральной оси от той поверхности части ступицы, в которой было сформировано сквозное отверстие, определялись как прямоугольные области P , прямоугольные области P в сечении части ступицы включали в себя прямоугольную область P , в которой среднее значение концентрации C составляло 0,90 мас.% или больше. В дополнение к этому, ударная вязкость по Шарпи в том случае, когда концентрация C была равна 0,90 мас.% или больше, составляла 6,0 (Дж/см²) или меньше. Таким образом, в прямоугольной области P , в которой среднее значение концентрации C составляло 0,90 мас.% или больше, ударная вязкость по Шарпи была равна 6,0 (Дж/см²) или меньше. Следовательно, часть ступицы железнодорожного колеса, произведенного согласно условиям Теста №2, не обладала превосходной ударной вязкостью.

[0087]

Выше был описан один вариант осуществления настоящего изобретения. Однако вышеописанный вариант осуществления является просто примером для осуществления настоящего изобретения. Соответственно, настоящее изобретение не ограничивается вышеописанным вариантом осуществления, и вышеописанный вариант осуществления может быть подходящим образом модифицирован внутри диапазона, который не отклоняется от сути настоящего изобретения.

СПИСОК ССЫЛОЧНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

[0088]

- 1 - Железнодорожное колесо
- 2 - Часть ступицы
- 3 - Часть диска
- 4 - Часть обода колеса

- 21 - Сквозное отверстие
- 22 - Внутренняя периферийная поверхность
- 23 - Поверхность стороны гребня
- 24 - Поверхность стороны профиля катания колеса
- 41 - Профиль катания
- 42 - Часть гребня
- L1 - Осевой линейный сегмент
- L2 - Радиальный линейный сегмент

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Железнодорожное колесо, содержащее:

часть обода колеса,

часть ступицы, имеющую сквозное отверстие, и

часть диска, которая располагается между частью обода колеса и частью ступицы и соединена с частью обода колеса и частью ступицы, причем

химический состав железнодорожного колеса включает в себя, в мас.%,

C: 0,60-0,80%,

Si: 1,00% или меньше,

Mn: 0,10-1,50%,

P: 0,050% или меньше,

S: 0,030% или меньше,

N: 0,0200% или меньше,

Al: 0-0,500%,

Cu: 0-0,50%,

Ni: 0-0,50%,

Cr: 0-0,50%,

V: 0-0,12%,

Ti: 0-0,010%,

Mo: 0-0,20%, и

Nb: 0-0,050%,

с остатком из железа и примесей,

и причем

в сечении части ступицы, полученном, когда в направлении центральной оси сквозного отверстия часть ступицы режется вдоль плоскости, которая включает в себя центральную ось,

когда области размером 15×15 мм, определенные множеством осевых линейных сегментов, которые параллельны центральной оси и расположены с шагом 15 мм в радиальном направлении железнодорожного колеса от внутренней периферийной поверхности сквозного отверстия, и множеством радиальных линейных сегментов, которые перпендикулярны центральной оси и расположены с шагом 15 мм в направлении центральной оси от поверхности части ступицы, которая является поверхностью, в которой формируется сквозное отверстие, определяются как прямоугольные области,

среднее значение концентрации C в каждой прямоугольной области в сечении части ступицы составляет менее 0,90 мас.%.
 2. Железнодорожное колесо по п. 1, содержащее один или более элементов, выбранных из группы, состоящей из:

Al: 0,001-0,500%,

Cu: 0,01-0,50%,

Ni: 0,01-0,50%,

Cr: 0,01-0,50%,

V: 0,01-0,12%,

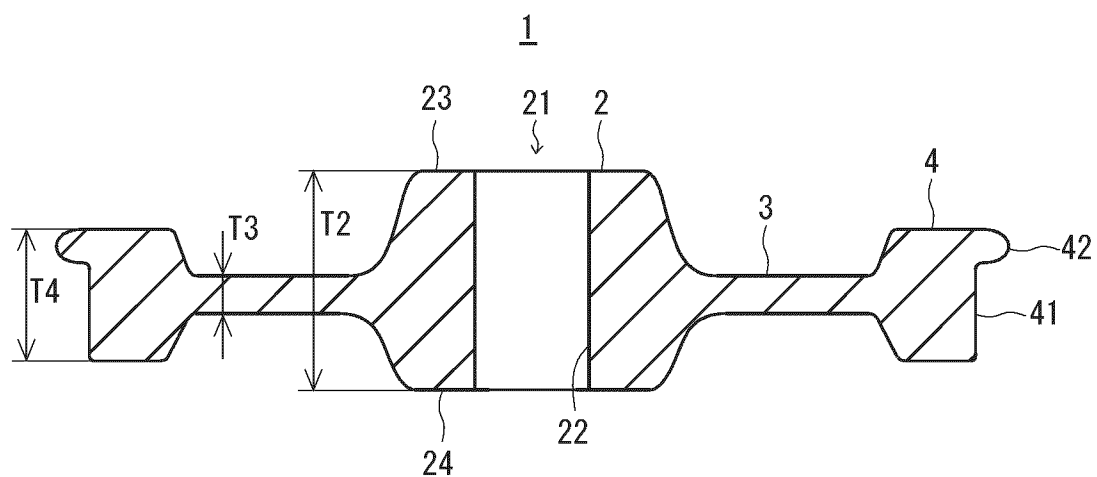
Ti: 0,001-0,010%,

Mo: 0,01-0,20%, и

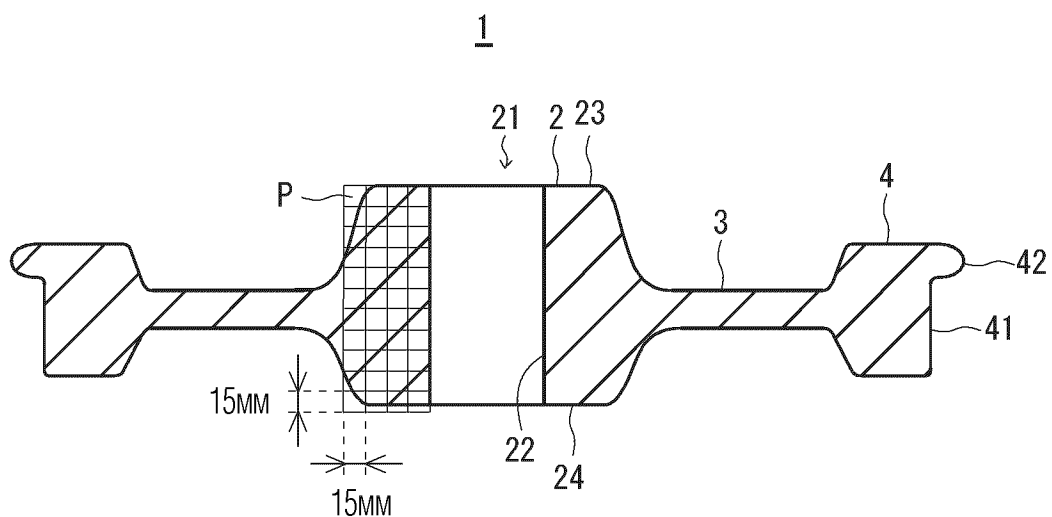
Nb: 0,010-0,050%.

По доверенности

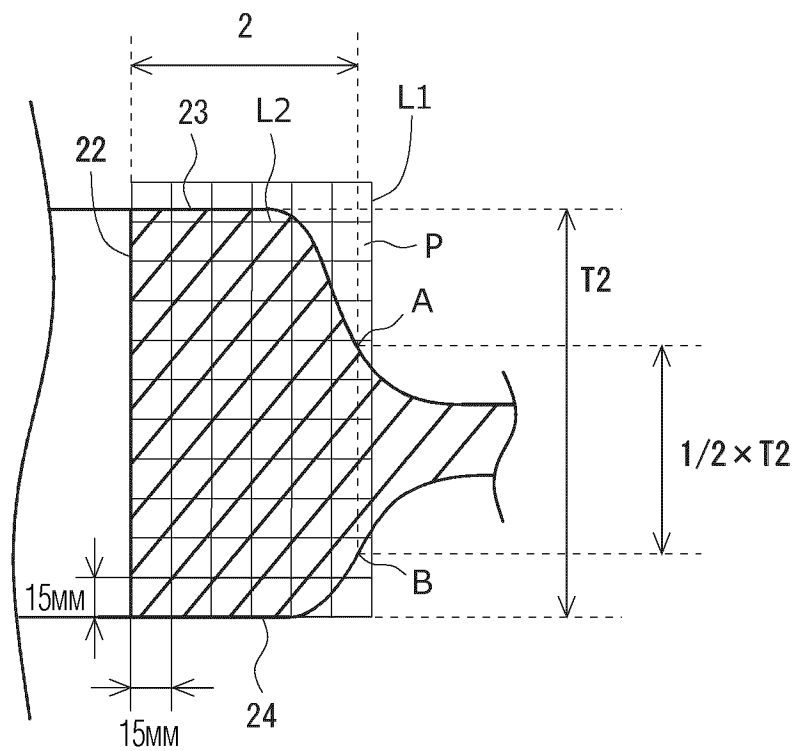
ФИГ. 1



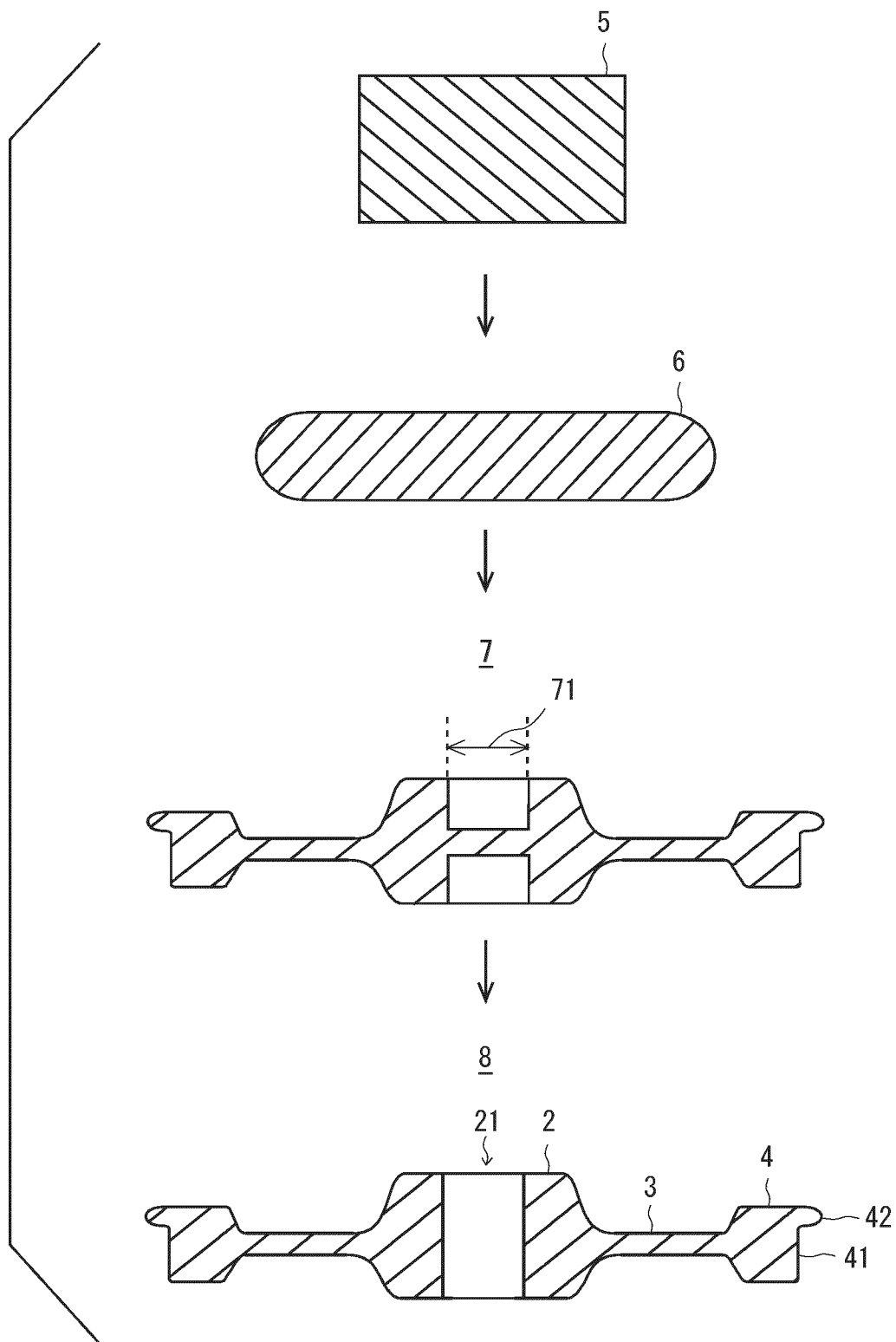
ФИГ. 2



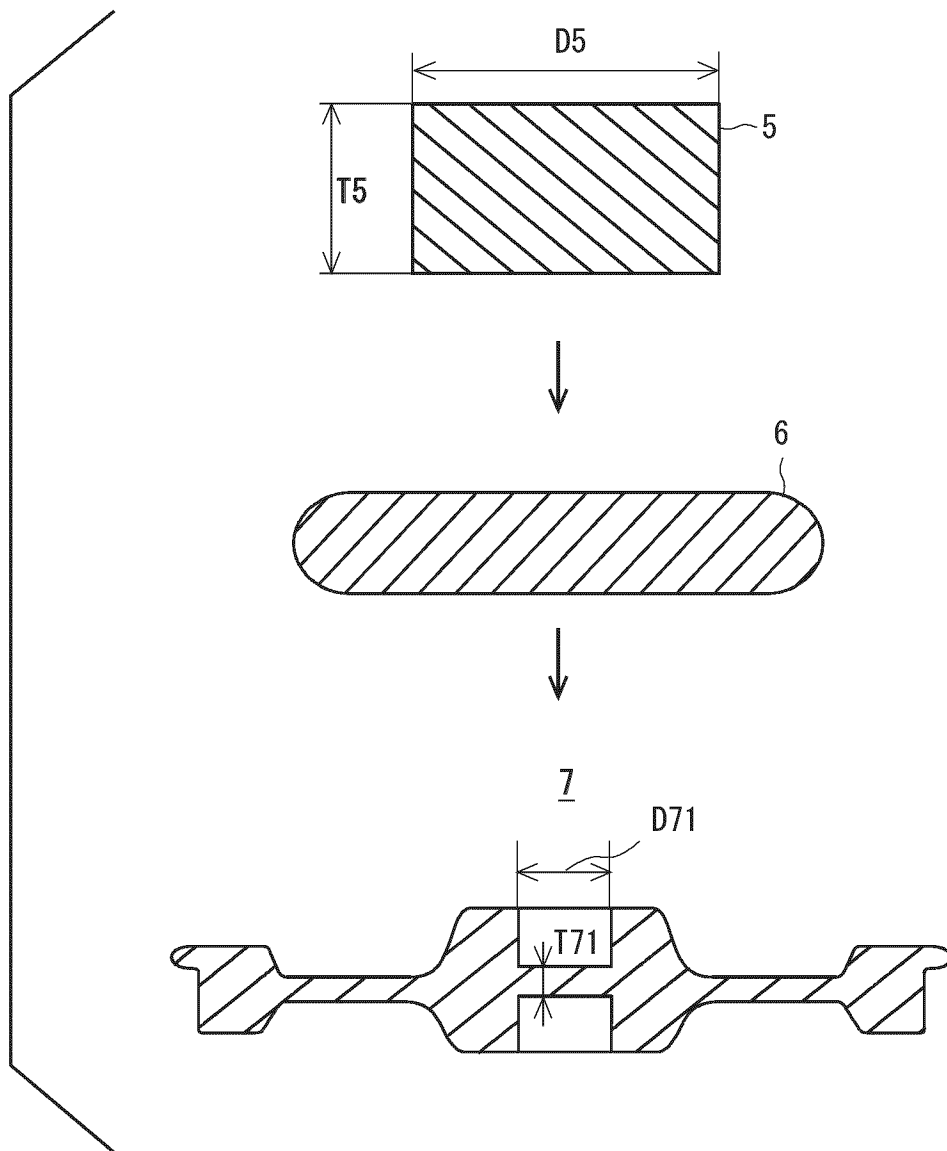
ФИГ. 3



ФИГ. 4



ФИГ. 5



ФИГ. 6

