



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

C22C 38/54 (2018.08); C21D 8/02 (2018.08)

(21)(22) Заявка: 2015136606, 24.12.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
24.12.2013

Дата регистрации:  
14.03.2019

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:  
22.01.2013 CN 201310022288.8

(43) Дата публикации заявки: 26.09.2017 Бюл. № 27

(45) Опубликовано: 14.03.2019 Бюл. № 8

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на  
национальной фазе: 21.03.2016

(86) Заявка РСТ:  
CN 2013/090270 (24.12.2013)

(87) Публикация заявки РСТ:  
WO 2014/114159 (31.07.2014)

Адрес для переписки:  
192282, Санкт-Петербург, а/я 03, Теслюк Т.П.

(72) Автор(ы):

ЧЖАО Сысинь (CN),  
ЦЗЯН Хуншэн (CN),  
ЯО Ляньдэн (CN)

(73) Патентообладатель(и):

БАОШАН АЙРОН ЭНД СТИЛ КО., ЛТД.  
(CN)

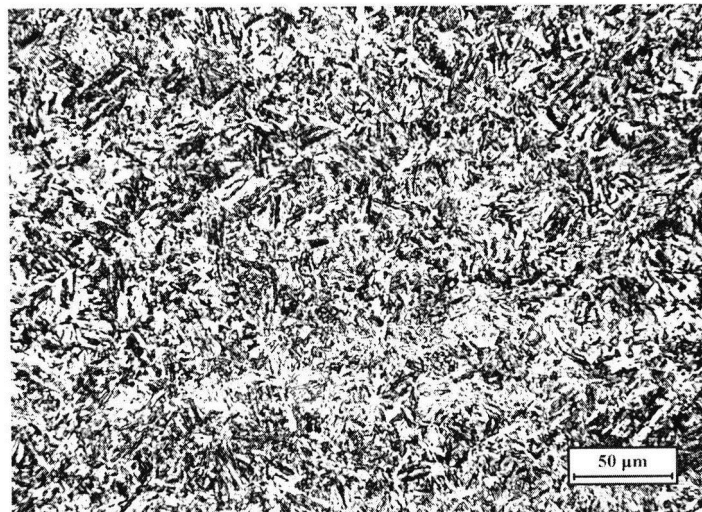
(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: JP 2009-242841 A, 22.10.2009. RU  
2459883 C2, 27.08.2012. WO 2012161248 A1,  
29.11.2012. JP 2010-047805 A, 04.03.2010. CN  
102471849 A, 23.05.2012. WO 2012141265 A1,  
18.10.2012. CN 102747303 A, 24.10.2012. CN  
102534423 A, 04.07.2012.

## (54) ВЫСОКОПРОЧНАЯ СТАЛЬНАЯ ПОЛОСА С НИЗКИМ ОТНОШЕНИЕМ ПРЕДЕЛА ТЕКУЧЕСТИ К ПРЕДЕЛУ ПРОЧНОСТИ И СПОСОБ ЕЕ ПРОИЗВОДСТВА

(57) Реферат:

Изобретение относится к высокопрочной стальной полосе с отношением предела текучести к пределу прочности менее 0,85, используемой для изготовления механических конструкций, строительства мостов, архитектурных и инженерно-технических сооружений. Выплавливают сталь, имеющую следующий химический состав, вес. %: С 0,28-0,34, Si 0,10-0,40, Mn 0,50-1,40, Cr 0,20-0,70, Mo 0,30-0,90, Nb ≤ 0,06, Ni 0,50-2,40, V ≤ 0,06, Ti 0,002-0,04, Al 0,01-0,08, B 0,0006-0,0020, N ≤ 0,0060, O ≤ 0,0040, Ca 0,002-0,0045, остальное

Fe и неустраняемые примеси. Отливают сталь в сляб, который нагревают до температуры 1080-1250°C и выполняют прокатку до получения полосы. Охлаждают прокатанную полосу и осуществляют закалку при температуре 860-940°C и отпуск до температуры 150-350°C для получения стальной полосы, содержащей микроструктуру из мелкозернистого мартенсита и остаточного аустенита. Достигаются высокие механические свойства. 2 н. и 6 з.п. ф-лы, 1 ил., 3 табл., 6 пр.



Фиг.1

RU 2682074 C2

RU 2682074 C2



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

*C22C 38/54 (2018.08); C21D 8/02 (2018.08)*(21)(22) Application: **2015136606, 24.12.2013**(24) Effective date for property rights:  
**24.12.2013**Registration date:  
**14.03.2019**

Priority:

(30) Convention priority:  
**22.01.2013 CN 201310022288.8**(43) Application published: **26.09.2017 Bull. № 27**(45) Date of publication: **14.03.2019 Bull. № 8**(85) Commencement of national phase: **21.03.2016**(86) PCT application:  
**CN 2013/090270 (24.12.2013)**(87) PCT publication:  
**WO 2014/114159 (31.07.2014)**Mail address:  
**192282, Sankt-Peterburg, a/ya 03, Teslyuk T.P.**

(72) Inventor(s):

**CHZHAO Sysin (CN),  
TSZYAN Khunshen (CN),  
YAO Lyanden (CN)**

(73) Proprietor(s):

**BAOSHAN AJRON END STIL KO., LTD. (CN)**(54) **ULTRA HIGH STRENGTH AND TOUGHNESS STEEL PLATE HAVING LOW YIELD RATIO AND MANUFACTURING METHOD THEREOF**

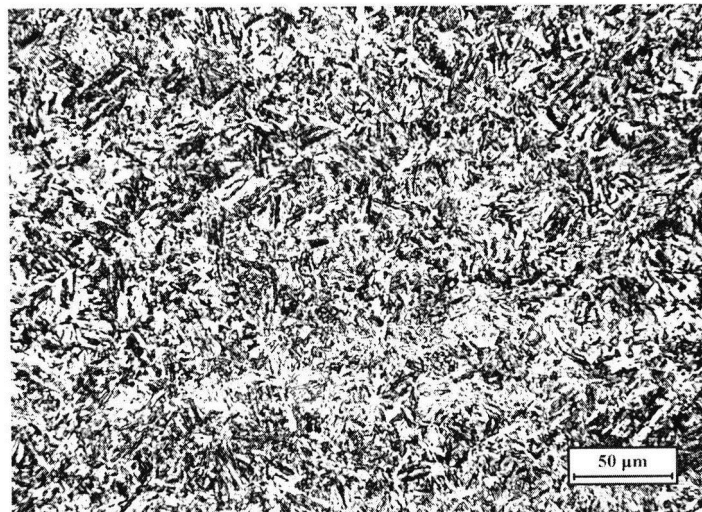
(57) Abstract:

FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: invention relates to a ultra high strength steel plate with a low yield ratio to strength ratio of less than 0.85, used in construction of machinery, building bridges, architectural and engineering structures. Steel is melted having the following chemical composition, by weight: C 0.28–0.34, Si 0.10–0.40, Mn 0.50–1.40, Cr 0.20–0.70, Mo 0.30–0.90, Nb≤0.06, Ni 0.50–2.40, V≤0.06, Ti 0.002–0.04, Al 0.01–0.08, B 0.0006–0.0020, N≤0.0060,

O≤0.0040, Ca 0.002–0.0045, and the balance being Fe and unrecoverable impurities. Steel is melted into a slab that has heated temperature of 1,080–1,250 °C and rolling is performed until the sheet is obtained. Rolled sheet is cooled and quenched at a temperature of 860–940 °C and leave to a temperature of 150–350 °C to produce a steel strip containing a microstructure of fine-grained martensite and residual austenite.

EFFECT: high mechanical properties are achieved.  
8 cl, 1 dwg, 3 tbl, 6 ex



Фиг.1

RU 2682074 C2

RU 2682074 C2

## Область изобретения

Изобретение относится к высокопрочной стальной полосе с низким отношением предела текучести к пределу прочности и к способу ее производства.

## Предшествующий уровень техники

- 5 Высокопрочная стальная полоса широко используется для изготовления механических конструкций, строительства мостов и других архитектурных и инженерно-технических сооружений. Механические свойства стальной полосы - это предел текучести, временное сопротивление, удлинение, ударная вязкость при низких температурах и т.д. При выборе
- 10 стальной полосы для элементов конструкций с повышенными требованиями к безопасности элемента конструкции, как правило, ориентируются на предел текучести и обеспечивают определенный коэффициент запаса прочности. Отношение предела текучести к временному сопротивлению также называют отношением предела текучести к пределу прочности. В инженерных проектах отношение предела текучести к пределу
- 15 прочности, в основном, определяется коэффициентом запаса прочности в рамках эксперимента, в котором стальную полосу доводят до окончательного состояния текучести, подвергая элемент конструкции критическому напряжению, превышающему предел текучести. Если стальная полоса имеет низкое отношение предела текучести к пределу прочности, то у такой полосы есть большой запас прочности до того, как напряжение достигнет величины временного сопротивления и приведет к разрушению
- 20 материала или утрате стабильности структуры под действием напряжения, превышающего предел текучести. При высоком отношении предела текучести к пределу прочности напряжение в стальной полосе быстро достигнет величины временного сопротивления и приведет к разрыву стальной полосы в момент, когда напряжение достигнет предела текучести. Поэтому при повышенных требованиях к безопасности
- 25 элемента конструкции необходимо использовать стальную полосу с низким пределом текучести. В составе таких структурных элементов, как стальные конструкции для высотных зданий, стальные водоводы гидроэлектростанций, гидравлические крепы в угольных шахтах и пр. стальная полоса с пониженным отношением предела текучести к пределу прочности способна поглощать больше энергии во время стихийных бедствий,
- 30 например, землетрясений, горных оползней, обвалов, что позволяет сократить ущерб, наносимый конструкциям, или избежать их полного разрушения, тем самым предотвращая дополнительные катастрофы и снижая риск человеческих жертв.

- Если момент возникновения текучести стальной полосы хорошо известен, то предел текучести определяется верхним и нижним пределами текучести; иначе предел текучести
- 35 определяется напряжением при 0,2% пластической деформации (условный предел текучести  $R_{p0,2}$ ). Верхний предел текучести низкоуглеродистой стальной полосы обусловлен образованием атмосферы Коттрелла из межузельных атомов возле дислокаций, которая препятствует началу перемещения дислокаций. После начала
- 40 перемещения дислокаций эффект атмосферы Коттрелла пропадает, и для воздействия на стальную полосу требуется уже меньше усилий, что соответствует нижнему пределу текучести. Если при начале перемещения дислокаций происходит взаимодействие между атмосферой Коттрелла кольцами и стенками дислокаций, то характеристики текучести уже не очевидны. Предел текучести соответствует напряжению, которое расширяет
- 45 полосу скольжения за счет крупномасштабного размножения и движения дислокаций. В некоторых источниках пределом текучести называется напряжение, при котором движущиеся краевые дислокации полностью выходят из кристаллов, при этом временное сопротивление - это максимальное напряжение, которое материал может выдержать при удлинении, что часто сопровождается образованием центров кристаллизации, а

также ростом и развитием микротрещин.

При проектировании и производстве стальной полосы с низким отношением предела текучести к пределу прочности часто используют микроструктуры с комбинацией мягкой и твердой фаз для того, чтобы получить низкий предел текучести и высокое временное сопротивление. Например:

В патенте "Высокопрочная двухфазная сталь с низким отношением предела текучести к пределу прочности, высокой ударопрочностью и хорошей свариваемостью" (см. WO 2007/051080, опубл. 03.05.2007) описана двухфазная высокопрочная сталь, включающая составную микроструктуру из мягкой и твердой фаз, при этом составная микроструктура обеспечивает низкое отношение предела текучести к пределу прочности, высокую деформационную способность, превосходную свариваемость и высокую ударопрочность, а химический состав стали включает, вес. %: C 0,03-0,12, Ni 0,1-1,0, Nb 0,005-0,05, Ti 0,005-0,03, Mo 0,1-0,6, Mn 0,5-2,5, Cu $\leq$ 1,0, Cr $\leq$ 1,0, Ca $\leq$ 0,01, а также следующие необязательные элементы: V $\leq$ 0,1, B $\leq$ 0,002, Mg $\leq$ 0,006, N $\leq$ 0,010, Si $\leq$ 0,5, Cu $\leq$ 1,0, Al $\leq$ 0,06, P $\leq$ 0,015, S $\leq$ 0,004. Приблизительно от 10 до 60% объема двухфазной стали представляют собой первую фазу или компонент, состоящий, в основном, из мелкозернистого феррита. Первая фаза включает феррит со средним размером зерна около 5 микрон и менее. Приблизительно 40-90% объема двухфазной стали представляют собой вторичную фазу или компонент, включающий: мелкозернистый мартенсит, мелкозернистый нижний бейнит, мелкозернистый гранулярный бейнит, мелкозернистый вырожденный верхний бейнит или любую их комбинацию.

В патенте "Толстая стальная полоса марки 800 мпа с высокой ударопрочностью и низким отношением предела текучести к пределу прочности, а также способ ее производства" (см. CN 101045977 A, опубл. 03.10.2007) описана стальная полоса с высокой прочностью, высокой ударопрочностью, низким отношением предела текучести к пределу прочности и временным сопротивлением свыше 800 МПа, имеющая следующий химический состав, вес. %: C 0,05-0,09, Si 0,35-0,45, Mn 1,5-1,90, Ni 0,30-0,70, Nb 0,04-0,08, Al 0,02-0,04, Ti 0,01-0,04.

В патенте "Толстая стальная полоса марки 700 мпа с высокой ударопрочностью и низким отношением предела текучести к пределу прочности, а также способ ее производства" (см. CN 1924065 A, опубл. 07.03.2007) описана стальная полоса, имеющая следующий химический состав, вес. %: C 0,03-0,06, Si 0,35-0,55, Mn 1,00-1,55, Ni 0,50-0,70, Nb 0,02-0,06, Al 0,02-0,04, Ti 0,01-0,04, V 0,04-0,07, Cu 0,50-0,70, остальное Fe и неустраняемые примеси. Способ производства включает: выплавку и отливку заготовок, нагрев до 1180-1220°C, прокатку при начальной температуре прокатки 1050-1100°C, продолжение прокатки до достижения температуры 920-960°C, при этом толщина прокатанных фрагментов в 2-3 раза больше окончательной толщины стальной полосы; второй этап прокатки с количественной деформацией около 5-15 мм и степенью деформации на каждом проходе 10-25%; установку температуры конца прокатки в пределах 820-880°C; после окончания прокатки - охлаждение воздухом в течение 60-120 с, затем быстрое охлаждение со скоростью 10-20°C/с до 460-600°C, выгрузку стальной полосы из воды, затем охлаждение воздухом.

Таким образом, при создании крупных и сложных механических стальных конструкций требуется стальная полоса с повышенной прочностью и низким отношением предела текучести к пределу прочности, которая делает стальные конструкции прочнее и легче, а также позволяет экономить энергию и сокращать расход материалов.

Раскрытие изобретения

Перед изобретением ставится задача создания высокопрочной стальной полосы с низким отношением предела текучести к пределу прочности, а также способа ее производства. Стальная полоса должна иметь высокое временное сопротивление и низкое отношение предела текучести к пределу прочности. Указанный тип стальной

5 полосы удовлетворяет требованиям низкого предела текучести, высокой надежности, высокой ударопрочности, повышенной прочности и малого веса, предъявляемым к стальной полосе для производства механических конструкций с повышенными требованиями к безопасности элементов конструкции, например, при строительстве зданий, мостов, различных инженерно-технических сооружений.

10 Для решения вышеупомянутой задачи высокопрочная стальная полоса с низким отношением предела текучести к пределу прочности имеет следующий химический состав, вес. %: C 0,18-0,34, Si 0,10-0,40, Mn 0,50-1,40, Cr 0,20-0,70, Mo 0,30-0,90, Nb $\leq$ 0,06, Ni 0,50-2,40, V $\leq$ 0,06, Ti 0,002-0,04, Al 0,01-0,08, B 0,0006-0,0020, N $\leq$ 0,0060, O $\leq$ 0,0040, Ca $\leq$ 0,0045, остальное Fe и неустраняемые примеси.

15 Углеродный эквивалент  $C_E$  стальной полосы может составлять  $C_E \leq 0,75\%$  и иметь следующее значение:  $C_E = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15$ , где C, Mn, Cr, Mo, V, Ni, Cu соответствуют содержанию этих элементов в стальной полосе в %. Микроструктура стальной полосы может состоять из мелкозернистого мартенсита и остаточного аустенита.

20 Ниже описан принцип подбора химических элементов для состава предлагаемой высокопрочной стальной полосы с низким отношением предела текучести к пределу прочности.

Углерод (C) может расширять зону аустенитной фазы в стальной полосе. Изменяя содержание углерода в составе стали, можно получать стальную полосу с различными

25 микроструктурами и разными механическими свойствами. Тип фазового превращения в стальной полосе меняется при изменении количества углерода, добавляемого в сталь. При низком содержании углерода и легирующих элементов происходит диффузионное фазовое превращение, например, ферритное или перлитное превращение. При высоком содержании углерода и легирующих элементов происходит мартенситное превращение.

30 При мартенситном превращении атомы углерода растворяются в решетке атомов железа и удлиняют ось кристаллов с, что приводит к трансформации гранецентрированной кубической решетки (ГКЦ) в гексагональную плотноупакованную решетку (ГПУ). Атомы углерода значительно повышают прочность стальной полосы, изменяя кристаллическую структуру стали. Стабильность аустенита улучшается по

35 мере роста содержания атомов углерода, и после быстрого охлаждения стальной полосы можно получить мартенсит и остаточный аустенит, что снижает отношение предела текучести к пределу прочности стальной полосы. Однако при слишком высоком содержании углерода ухудшаются пластичность и ударопрочность стальной полосы. Учитывая влияние углерода на надежность и сверхпластичность стальной полосы,

40 содержание углерода в изобретении контролируется на уровне 0,18-0,34 вес. %.

При добавлении кремния (Si) в стальную полосу может улучшаться ее прочность за счет замещения атомов и твердорастворного упрочнения. Однако при слишком высоком содержании кремния возрастает вероятность образования горячих трещин во время сварки стальной полосы. Поэтому содержание кремния в изобретении составляет 0,10-

45 0,40 вес. %.

Углерод и марганец (Mn) часто используются вместе для получения стальной полосы с хорошими механическими свойствами. Марганец добавляется в стальную полосу для повышения ее надежности за счет твердорастворного упрочнения. Поскольку в

предлагаемую стальную полосу добавляется сравнительно большое количество углерода, то для обеспечения нужного значения углеродного эквивалента и хороших сварочных характеристик количество добавляемого марганца в изобретении находится в пределах 0,50-1,40 вес. %, что позволяет контролировать отношение предела текучести к пределу прочности и надежность стальной полосы.

Хром (Cr) может улучшать прокаливаемость стальной полосы и делать возможным образование мартенситной структуры в процессе охлаждения стальной полосы. Тем не менее, чересчур высокое содержание хрома приводит к увеличению углеродного эквивалента стальной полосы, тем самым ухудшая ее сварочные характеристики.

Поэтому содержание хрома в изобретении контролируется на уровне 0,20-0,70 вес. %.

Молибден (Mo) способен эффективно подавлять диффузионное фазовое превращение, что приводит к образованию высокопрочной структуры с низкой температурой трансформации в процессе охлаждения стальной полосы. При низком содержании молибдена эффект подавления диффузионного фазового превращения в стальной

полосе не может проявляться в полную силу, в результате чего образование

дополнительной мартенситной структуры при охлаждении стальной полосы оказывается невозможным, что снижает прочность стальной полосы. Если же содержание молибдена слишком высоко, то увеличивается углеродный эквивалент и ухудшаются сварочные характеристики стальной полосы. Поэтому, согласно изобретению, содержание

молибдена контролируют на уровне 0,30-0,90 вес. %.

Ниобий (Nb) при добавлении в сталь может сдерживать перемещение границ зерен аустенита, что приводит к рекристаллизации стальной полосы при высокой температуре. Когда аустенизация проходит при высокой температуре, то растворенный в аустените ниобий образует частицы карбида ниобия (NbC) в местах дислокаций и на границах

зерен в силу эффекта деформационно-индуцированного осаждения во время прокатки, что подавляет перемещение границ зерен и повышает надежность стальной полосы. При слишком высоком содержании ниобия могут образоваться крупные частицы карбида ниобия, которые ухудшают ударную вязкость стальной полосы при низких температурах. Поэтому для регулирования механических свойств стальной полосы

согласно изобретению ниобий добавляют в количестве не более 0,06 вес. %.

Никель (Ni) может образовывать с железом твердый раствор в составе стали, улучшая ударопрочность стальной полосы за счет снижения дефектов упаковки решетки. Для получения высокопрочной стальной полосы с хорошей ударопрочностью при низких температурах в ее состав необходимо добавлять определенное количество никеля.

Никель может повышать стабильность аустенита и приводить к образованию структур мартенсита и остаточного аустенита при охлаждении стальной полосы, уменьшая отношение предела текучести к пределу прочности стальной полосы. Но если содержание никеля чересчур высоко, то при нагревании сляба образуется оксидная пленка, которую сложно удалить, и которая отрицательно влияет на качество поверхности стальной

полосы; кроме того, возрастает стоимость производства стальной полосы. Поэтому содержание никеля согласно изобретению находится в пределах 0,50-2,40 вес. %.

Ванадий (V) добавляется в сталь в качестве легирующего элемента. Он повышает надежность стальной полосы благодаря твердорастворному упрочнению и дисперсионному твердению металлоподобных карбидов. Тем не менее, при слишком высоком содержании ванадия металлоподобные карбиды укрупняются при тепловой обработке, отрицательно влияя на ударопрочность стальной полосы при низких температурах. Поэтому для обеспечения требуемых механических свойств стальной полосы согласно изобретению ванадий добавляют в количестве не более 0,06 вес. %.



В расплавленной стали титан (Ti) образует нитрид, а затем оксид и карбид в более низком температурном диапазоне. Слишком высокое содержание титана приводит к образованию крупнозернистого нитрида титана (TiN) в расплавленной стали. Частицы нитрида титана имеют кубическую форму и в углах частиц концентрируется напряжение, что приводит к образованию трещин. Учитывая все аспекты влияния титана на характеристики стали, содержание титана согласно изобретению контролируется на уровне 0,002-0,04 вес. %.

Алюминий (Al) добавляется в сталь для измельчения зерна за счет образования оксидов и нитридов. Для измельчения зерна, улучшения ударопрочности и обеспечения требуемых сварочных характеристик стальной полосы, содержание добавляемого в сталь алюминия согласно изобретению контролируется в пределах 0,01-0,08 вес. %.

Бор (B) обогащает границы зерен в стальной полосе, что приводит к уменьшению зернограницной энергии и образованию структуры с низкой температурой трансформации в процессе охлаждения стальной полосы. Добавление бора в сталь вместе с изменением содержания углерода и легирующих элементов приводит к образованию высокопрочной мартенситной структуры и, следовательно, к получению стальной полосы с хорошей прочностью. Тем не менее, при чрезмерно высоком содержании бора он обогащает границы зерен мартенсита, что приводит к снижению ударной вязкости при низких температурах и ухудшению сопротивления усталости стальной полосы. Поэтому, согласно изобретению, бор добавляется в количестве 0,0006-0,0020 вес. %.

Азот (N) в составе стали может образовывать нитриды с титаном, ниобием и ванадием. В процессе аустенизации стальной полосы нерастворившиеся нитриды могут препятствовать перемещению границ зерен аустенита, в результате чего происходит измельчение аустенитного зерна. При чересчур высоком содержании азота образуется крупнозернистый нитрид титана (TiN), что ухудшает механические свойства стальной полосы. Также атомы азота могут обогащать дефекты стали, что приводит к пористости и трещинам в материале, еще больше ухудшая механические свойства стальной полосы. Поэтому содержание азота в изобретении контролируется на уровне не более 0,0060 вес. %.

Кислород (O) в стали образует оксиды с алюминием, кремнием и титаном. В процессе аустенизации стальной полосы при нагреве оксиды алюминия препятствуют разрастанию аустенита и измельчают зерно. Однако при большом количестве кислорода в составе стальной полосы возрастает вероятность образования горячих трещин в процессе сварки. Поэтому содержание кислорода в изобретении контролируется на уровне не более 0,0040 вес. %.

Кальций (Ca) может вводиться в сталь, образовывать вместе с серой (S) сульфид кальция (CaS) и выполняет функцию сфероидизации сульфидов, что улучшает ударную вязкость стальной полосы при низких температурах. Содержание кальция в изобретении необходимо контролировать на уровне не более 0,0045 вес. %.

Также в изобретении предлагается способ производства высокопрочной стальной полосы с низким отношением предела текучести к пределу прочности, включающий выплавку, отливку, нагрев до температуры 1080-1250°C, прокатку, охлаждение, закалку при температуре 860-940°C и отпуск до температуры 150-350°C для получения стальной полосы, содержащей микроструктуру из мелкозернистого мартенсита и остаточного аустенита.

В предлагаемом способе производства высокопрочной стальной полосы с низким отношением предела текучести к пределу прочности значения температур при нагреве,

закалке, отпуске и т.п. регулируются в соответствующих диапазонах. Контроль температуры дополняется выбором элементного состава, при этом принцип подбора химических элементов состава и процесс производства обеспечивают взаимосвязанные эффекты. При нагреве температуру регулируют в диапазоне 1080-1250°C для

5 осуществления аустенизации. Указанный процесс нагрева в основном представляет собой процесс, при котором растворяются карбонитриды и растут аустенитные зерна. Например, в стали частично растворяются карбиды или карбонитриды, сформированные из таких карбидообразующих элементов как Nb, V, Ti, Cr, Mo и пр., а атомы легирующих элементов растворяются в аустените посредством диффузии с образованием твердого

10 раствора. В процессе прокатки часть карбонитридов способствует зарождению и росту зерен в местах дефектов в силу эффекта деформационно-индуцированного осаждения, а также измельчению итогового зерна, тем самым улучшая механические свойства стальной полосы. При закалке температуру регулируют в пределах 860-940°C, т.к. нагрев и выдержка в таком температурном диапазоне могут эффективно регулировать

15 частичное растворение карбонитридов, полученных из карбидообразующих элементов, таких как Nb, V, Ti, Cr, Mo и т.п., а также размер, до которого вырастают аустенитные зерна. Отпуск термообработкой выполняют путем регулирования температуры в нагревательной печи в диапазоне 150-350°C. Процесс отпуска стальной полосы, как правило, состоит из четырех этапов: 1) во время отпуска стальной полосы при

20 температуре 100°C происходит выделение  $\epsilon$ -карбидов в мартенсите с квадратной решеткой, которое уменьшает квадратность мартенсита; при этом в стали с содержанием углерода 0,3 вес. % и менее не происходит образования  $\epsilon$ -карбидов, а мелкодисперсные карбиды образуются только вблизи дефектов, например, дислокаций и т.п.; 2) при температуре около 235°C остаточный аустенит превращается в нижний бейнит и

25 мартенсит; 3) при температуре около 300°C  $\epsilon$ -карбиды превращаются в цементит; а 4) при температуре 400-450°C диффузионные коэффициенты углерода и железа увеличиваются, зерна цементита укрупняются. В изобретении применяют отпуск при температуре около 150-350°C. Поэтому мелкозернистые карбиды осаждаются по краям реек мелкозернистого мартенсита, а на участках стальной полосы с очень высокой

30 плотностью дислокаций происходит аннигиляция разноименных дислокаций. Таким образом, уменьшается внутреннее напряжение в стальной полосе и повышается ее пластичность. На данном этапе контроль температуры отпуска позволяет сохранить часть остаточного аустенита в стальной полосе, что уменьшает итоговое отношение предела текучести к пределу прочности стальной полосы и повышает ее временное

35 сопротивление.

В описанном выше способе после прокатки прокатную полосу могут охлаждать при помощи воздушного или водного охлаждения.

Закаленную стальную полосу могут охлаждать при помощи водного охлаждения.

После отпуска отпущенную стальную полосу могут охлаждать при помощи

40 воздушного охлаждения.

Углеродный эквивалент  $C_3$  может составлять  $C_3 \leq 0,75\%$  и иметь следующее значение:

$$C_3 = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15,$$

где C, Mn, Cr, Mo, V, Ni, Cu соответствуют содержанию этих элементов в стальной

45 полосе в %.

Благодаря рациональному подбору элементов состава и оптимизации процесса производства, предлагаемая в изобретении высокопрочная стальная полоса с низким отношением предела текучести к пределу прочности обладает следующими преимуществами по сравнению с техническими решениями предшествующего уровня

техники:

- уменьшение углеродного эквивалента  $C_{\Sigma}$  и содержания легирующих элементов;
- отношение предела текучести к пределу прочности менее 0,85;
- временное сопротивление более 1500 МПа;
- предел текучести более 1200 МПа;
- удлинение более 10%; а также
- превосходные механические свойства.

В предлагаемом способе производства высокопрочной стальной полосы получают микроструктуру, сочетающую как мягкую, так и твердую фазы мелкозернистого мартенсита и остаточного аустенита, благодаря одной лишь оптимизации температурного контроля, без добавления дополнительных шагов и без усложнения процесса, в результате чего становится возможным получить высокопрочную стальную полосу с низким отношением предела текучести к пределу прочности и с требуемыми механическими характеристиками. Процесс довольно гибок, что позволяет широко применять его в непрерывном производстве элементов конструкций, к структурной безопасности которых предъявляются высокие требования.

Описание чертежей

На Фиг. 1 показана оптическая микрофотография микроструктуры высокопрочной стальной полосы с низким отношением предела текучести к пределу прочности из примера 4.

Лучший вариант осуществления изобретения

Далее предлагаемое техническое решение описано более подробно со ссылками на конкретные примеры осуществления и приложенный чертеж, при этом приведенное описание не является ограничением объема заявленного изобретения.

Примеры 1-6

Для производства предлагаемой в изобретении высокопрочной стальной полосы с низким отношением предела текучести к пределу прочности выполняли описанные ниже шаги.

- 1) Выплавка: содержание различных химических элементов в процентах по массе контролировали согласно таблице 1;
- 2) Отливка;
- 3) Нагрев: слэб нагревали до температуры 1080-1250°C;
- 4) Прокатка: прокатную стальную полосу охлаждали при помощи воздушного или водяного охлаждения;
- 5) Охлаждение: стальную полосу охлаждали до комнатной температуры;
- 6) Закалка: температура закалки составляла 860-940°C, после закалки выполняли водное охлаждение;
- 7) Отпуск: температура отпуска составляла 150-350°C, после отпуска выполняли воздушное охлаждение.

На Фиг. 1 показана оптическая микрофотография микроструктуры высокопрочной стальной полосы с низким отношением предела текучести к пределу прочности из примера 4.

Химический состав компонентов высокопрочной стальной полосы с низким отношением предела текучести к пределу прочности по примерам 1-6 приведен в таблице 1.

**Химический состав компонентов высокопрочной стальной полосы по  
примерам 1-6, вес.% (остальное Fe и неустраняемые примеси)**

Таблица 1

Пример	C	Si	Mn	Cr	Mo	Nb	Ni	V	Ti	Al	B	N	O	Ca	Cэ
1	0,34	0,1	0,5	0,2	0,8	0,01	1,1	0,04	0,002	0,01	0,0006	0,004	0,003	0,003	0,704
2	0,3	0,2	0,6	0,3	0,5	0,01	2,4	0,01	0,006	0,02	0,0008	0,003	0,003	0,002	0,722
3	0,28	0,2	0,8	0,4	0,9	0,02	0,9	0,02	0,009	0,04	0,001	0,005	0,004	0,0045	0,737
4	0,25	0,2	1	0,5	0,5	0,03	1,2	0,03	0,012	0,05	0,0012	0,006	0,003	0,002	0,703
5	0,21	0,3	1,2	0,6	0,4	0,04	2	0,01	0,03	0,06	0,0016	0,003	0,004	0,001	0,743
6	0,18	0,4	1,4	0,7	0,3	0,06	1,5	0,06	0,04	0,08	0,002	0,004	0,003	0,0025	0,725

Примечание: Cэ обозначает углеродный эквивалент Cэ, который имеет следующее значение:  $Cэ = C + Mn/6 + (Cr+Mo+V)/5 + (Ni+Cu)/15$ , где C, Mn, Cr, Mo, V, Ni, Cu соответствуют содержанию этих элементов в стальной полосе в %.

В таблице 2 приведены конкретные температурные параметры по примерам 1-6, при этом параметры каждого примера в таблице 2 соответствуют соответствующему примеру 1-6 из таблицы 1.

**Температурные параметры процесса производства по примерам 1-6**

Таблица 2

Пример	Температура нагрева, °C	Температура закали, °C	Температура отпуска, °C
1	1250	940	150
2	1220	920	200
3	1180	900	250
4	1150	880	300
5	1120	870	330
6	1080	860	350

В таблице 3 приведены механические характеристики высокопрочной стальной полосы с низким отношением предела текучести к пределу прочности по примерам 1-6.

# **Механические характеристики высокопрочной стальной полосы** **по примерам 1-6**

Таблица 3

Пример	Предел текучести, МПа	Временное сопротивление, МПа	Отношение предела текучести к пределу прочности, %	Удлинение, %	Энергия разрушения образца Шарпи с V-образным надрезом при -20 °С, Дж
1	1350	1660	0,81	11	30/33/36
2	1320	1640	0,80	12	45/52/51
3	1330	1610	0,83	12	38/40/42
4	1305	1590	0,82	12	45/41/48
5	1285	1530	0,84	13	58/50/60
6	1250	1535	0,81	14	60/56/55

Как видно из таблицы 3, предлагаемая в изобретении высокопрочная стальная полоса с низким отношением предела текучести к пределу прочности имеет следующие характеристики: отношение предела текучести к пределу прочности менее 0,85, временное сопротивление более 1500 МПа, предел текучести более 1200 МПа, удлинение более 10%, энергия разрушения образца Шарпи с V-образным надрезом при -20°С более 27 Дж. Стальная полоса с перечисленными выше механическими характеристиками обладает сверхвысокой прочностью, сверхпластичностью и высокой надежностью.

Среднему специалисту в данной области ясно, что приведенные выше примеры служат лишь для наглядной демонстрации настоящего изобретения и не ограничивают его объема, при этом все модификации будут оставаться в пределах объема изобретения, определяемого его формулой.

## (57) Формула изобретения

1. Высокопрочная стальная полоса с отношением предела текучести к пределу прочности менее 0,85, имеющая следующий химический состав, вес.%: С 0,28-0,34, Si 0,10-0,40, Mn 0,50-1,40, Cr 0,20-0,70, Mo 0,30-0,90, Nb≤0,06, Ni 0,50-2,40, V≤0,06, Ti 0,002-0,04, Al 0,01-0,08, B 0,0006-0,0020, N≤0,0060, O≤0,0040, Ca 0,002-0,0045, остальное Fe и неустраняемые примеси.

2. Стальная полоса по п. 1, отличающаяся тем, что углеродный эквивалент  $C_E = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15$  имеет следующее значение  $C_E \leq 0,75\%$ ,

где С, Mn, Cr, Mo, V, Ni, Cu соответствуют содержанию этих элементов в стальной полосе в вес.%.

3. Стальная полоса по п. 1 или 2, отличающаяся тем, что она имеет микроструктуру, состоящую из мелкозернистого мартенсита и остаточного аустенита.

4. Способ производства высокопрочной стальной полосы с отношением предела текучести к пределу прочности менее 0,85 по п. 1 или 2, включающий выплавку, отливку, нагрев до температуры 1080-1250°С, прокатку, охлаждение, закалку при температуре 860-940°С и отпуск до температуры 150-350°С для получения стальной полосы,

содержащей микроструктуру из мелкозернистого мартенсита и остаточного аустенита.

5. Способ по п. 4, отличающийся тем, что после прокатки полосу охлаждают при помощи воздушного охлаждения.

5 6. Способ по п. 4, отличающийся тем, что после прокатки полосу охлаждают при помощи водного охлаждения.

7. Способ по п. 4, отличающийся тем, что после закалки полосу охлаждают при помощи водного охлаждения.

8. Способ по п. 4, отличающийся тем, что после отпуска полосу охлаждают при помощи воздушного охлаждения.

10

15

20

25

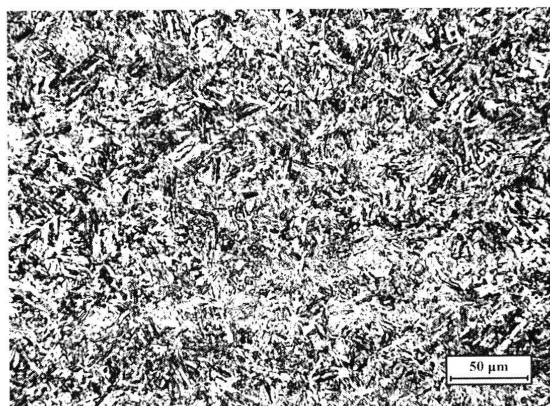
30

35

40

45

Высокопрочная стальная полоса  
с низким отношением предела текучести  
к пределу прочности и способ ее производства



Фиг.1