



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

C21D 8/02 (2018.08); C22C 38/00 (2018.08); C22C 38/58 (2018.08)

(21)(22) Заявка: 2016141474, 18.03.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
18.03.2015

Дата регистрации:  
17.12.2018

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:  
25.03.2014 EP 14161606.0

(43) Дата публикации заявки: 27.04.2018 Бюл. № 12

(45) Опубликовано: 17.12.2018 Бюл. № 35

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на  
национальной фазе: 25.10.2016

(86) Заявка РСТ:  
EP 2015/055685 (18.03.2015)

(87) Публикация заявки РСТ:  
WO 2015/144529 (01.10.2015)

Адрес для переписки:  
109012, Москва, ул. Ильинка, 5/2, ООО  
"Союзпатент"

(72) Автор(ы):

ГАГАНОВ, Александер (DE),  
ГЕРФЕРС, Вольфганг (DE),  
КЕРН, Андреас (DE),  
КОЛЕК, Габриель (DE),  
ШАФНИТ, Елена (DE),  
ЧЕРЗИХ, Ханс-Йоахим (DE)

(73) Патентообладатель(и):

ТИССЕНКРУПП СТИЛ ЮРОП АГ (DE),  
ТИССЕНКРУПП АГ (DE)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: EP 2130938 A1, 09.12.2009. RU  
2485202 C1, 20.06.2013. RU 2234542 C2,  
20.08.2004. RU 2500820 C1, 10.12.2013. JP 2007-  
247049 A, 27.09.2007. JP 2006-199979 A,  
03.08.2006.

(54) СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНОГО СТАЛЬНОГО ПРОКАТНОГО ПЛОСКОГО ИЗДЕЛИЯ

(57) Реферат:

Для получения стального прокатного плоского изделия с пределом текучести  $\geq 700$  МПа и  $\geq 70$  об. % бейнитной структуры согласно изобретению выполняются следующие этапы: а) приготовление стального расплава следующего состава, в вес. %: С 0,05 – 0,08, Si 0,015 – 0,500, Mn 1,60 – 2,00, Р до 0,025, S до 0,010, Al 0,020 – 0,050, N до 0,006, Cr до 0,40, Nb 0,060 – 0,070, В 0,0005 – 0,0025, Ti 0,090 – 0,130, а также неизбежные примеси, остальное – железо, б) разливка расплава на сляб, в) повторный нагрев сляба до

температуры 1200 – 1300°C, г) черновая прокатка сляба при температуре 950 – 1250°C и суммарном обжатии не менее 50%, д) чистовая прокатка прокатанного начерно сляба при конечной температуре горячей прокатки 800 – 880°C, е) охлаждение стального начисто горячекатаного плоского изделия в течение  $\leq 10$  секунд после чистовой горячей прокатки до 50 до 620°C со скоростью  $\leq 40$  К/с, ж) сматывание стального начисто горячекатаного плоского изделия. 13 з.п. ф-лы, 3 табл.



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

*C21D 8/02 (2018.08); C22C 38/00 (2018.08); C22C 38/58 (2018.08)*(21)(22) Application: **2016141474, 18.03.2015**(24) Effective date for property rights:  
**18.03.2015**Registration date:  
**17.12.2018**

Priority:

(30) Convention priority:  
**25.03.2014 EP 14161606.0**(43) Application published: **27.04.2018** Bull. № 12(45) Date of publication: **17.12.2018** Bull. № 35(85) Commencement of national phase: **25.10.2016**(86) PCT application:  
**EP 2015/055685 (18.03.2015)**(87) PCT publication:  
**WO 2015/144529 (01.10.2015)**Mail address:  
**109012, Moskva, ul. Ilinka, 5/2, OOO "Soyuzpatent"**

(72) Inventor(s):

**GAGANOV, Alexander (DE),  
GERVERS, Wolfgang (DE),  
KERN, Andreas (DE),  
SCHAFFNIT, Elena (DE),  
TSCHERSICH, Hans-joachim (DE),  
KOLEK, Gabriel (DE)**

(73) Proprietor(s):

**THYSSENKRUPP STEEL EUROPE AG (DE),  
ThyssenKrupp AG (DE)**(54) **METHOD FOR PRODUCING A HIGH-STRENGTH FLAT STEEL PRODUCT**

(57) Abstract:

FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: to produce a flat steel product having a yield strength of  $\geq 700$  MPa and a bainitic structure of  $\geq 70$  % by volume, the following working steps are carried out according to the invention: a) preparing a steel melt consisting of, by weight, %: C 0.05–0.08, Si 0.015–0.500, Mn 1.60–2.00, P to 0.025, S to 0.010, Al 0.020–0.050, N to 0.006, Cr to 0.40, Nb 0.060–0.070, B 0.0005–0.0025, Ti 0.090–0.130, as well as unavoidable impurities, remainder is iron, b) casting the melt to form a slab, c) reheating the slab to a temperature of 1200–1300 °C, d) rough rolling of the slab at a temperature of 950–1250 °C and overall pass

reduction of at least 50 %, d) hot finish-rolling of the rough-rolled slab with a hot-rolling end temperature of 800–880 °C, e) cooling of the hot finish-rolled flat steel product within  $\leq 10$  s after the hot finish-rolling to 50–620 °C at a cooling rate of  $\leq 40$  K/s, g) coiling of the hot finish-rolled flat steel product.

EFFECT: object of the invention to specify a method by which high-strength steel sheets having mechanical properties that have been optimized with respect to use in automobile construction and likewise optimized surface characteristics can be produced in practice.

14 cl, 3 tbl

Изобретение относится к способу получения стального прокатного плоского изделия с пределом текучести не менее 700 МПа и долей бейнитной структуры не менее 70 об. %.

Под стальными прокатными плоскими изделиями рассматриваемого здесь типа имеются в виду обычно прокатные изделия, такие, как стальные ленты или листы, а также произведённые из них заготовки для вытяжки и сутунки.

В частности, изобретение относится к способу получения высокопрочной, так называемой «котельной стали» толщиной не менее 3 мм.

Все данные по содержанию стали приведённых в настоящей заявке составов соотнесены с весом, если особо не указано иначе. Поэтому все «процентные данные», которые не определены более точно и относятся к стальному сплаву, следует понимать, как данные в весовых процентах.

Высокопрочные стальные прокатные плоские изделия всё большее значение приобретают, в частности, в секторе производства грузовых автомобилей, поскольку они позволяют сократить собственный вес автомобиля и увеличить полезную нагрузку. Малый вес не только способствует оптимальному использованию технической мощности соответствующего приводного агрегата, но и способствует эффективности ресурсов, оптимизации расходов и защите климата.

Существенное сокращение собственного веса конструкций из листовой стали можно достичь посредством повышения механических свойств, в частности предела прочности, соответственно обработанного стального прокатного плоского изделия. Наряду с высоким пределом прочности от современных, предназначенных для производства грузовых автомобилей, стальных прокатных плоских изделий требуются также хорошие показатели вязкости, хорошее сопротивление хрупкому разрушению, и оптимальная пригодность к холодной деформации и сварке.

Известно, что такая комбинация свойств достижима благодаря выбору подходящей концепции сплава и специальному способу производства. При использовании традиционных способов производства высокопрочной толстолистовой стали с минимальным пределом текучести 700 МПа поступают следующим образом. Сначала слябы в горячем виде прокатывают и затем охлаждают на воздухе. После этого листы снова нагревают, закаляют и отпускают. Следовательно, процесс содержит несколько этапов, необходимых для достижения механических свойств. Множество связанных с этим операций вызывает сопоставимо высокие производственные затраты. Кроме того требуется точное соблюдение режима способа для гарантии требуемых показателей вязкости и качества поверхности.

Из EP 2 130 938 A1 известен способ получения стального горячекатаного плоского изделия, при котором расплав разливают на слябы, при этом расплав содержит наряду с железом и неизбежными примесями также: 0,01 – 0,1 вес. % C, 0,01 – 0,1 вес. % Si, 0,1 – 3 вес. % Mn, не более 0,1 вес. % P, не более 0,03 вес. % S, 0,001 – 1 вес. % Al, не более 0,01 вес. % N, 0,005 – 0,08 вес. % Nb и 0,001 – 0,2 вес. % Ti, при соответствующем содержании Nb и C действительно:  $\%Nb \times \%C \leq 4,34 \times 10^{-3}$ .

После разливки и затвердевания расплава стальной сляб известным способом снова нагревают до температурного диапазона, нижний предел которого задают в зависимости от содержания C и Nb в разливаемой стали, а верхний предел которого составляет 1170°C. После этого снова нагретый сляб прокатывают начерно при конечной температуре от 1080° до 1150°C. После перерыва длительностью от 30 до 150 секунд, во время которого прокатанный начерно сляб выдерживается при 1000 – 1080°C, этот подогретый сляб затем начисто прокатывается в горячем виде. Степень деформации

на последнем пропуске во время горячей прокатки должна составлять 3 – 15%.

Согласно известному способу горячая прокатка завершается при температуре, которая соответствует, по меньшей мере, температуре Ar3 обработанной стали и составляет не более 950°C. По окончании горячей прокатки, полученную горячекатаную ленту охлаждают со скоростью более 15°C/с до температуры 450 – 550°C, при которой она сматывается в рулон.

В произведённой таким образом горячекатаной ленте плотность границ зёрен присутствующего в твёрдом растворе углерода должна составлять 1 – 4,5 атома/нм<sup>2</sup>, а размер зёрен цементита, выделившихся по границам зёрен, не должен превышать 1 мкм. Приготовленные таким образом и произведённые известным способом стальные прокатные плоские изделия должны обладать при достаточной высокой степени легирования пределом прочности при растяжении свыше 780 МПа и пределом текучести до 726 МПа. Следовательно, изготовленная известным способом горячекатаная лента должна обладать комбинацией свойств, особенно благоприятной для применения в автомобилестроении. Оптимальное качество поверхности достигается при этом в результате того, что температура повторного нагрева сляба перед горячей прокаткой ограничена приведённым выше температурным диапазоном, чем предупреждается чрезмерное образование окалины, которая была бы закатана в процессе горячей прокатки в поверхностный слой горячекатаной ленты.

На фоне пояснённого выше уровня техники задача изобретения состояла в создании способа, с помощью которого могут быть изготовлены на практике высокопрочные стальные листы с оптимальными для применения в автомобилестроении механическими свойствами и также оптимальным качеством поверхности.

Указанная задача решена изобретением посредством приведённого в пункте 1 формулы изобретения способа.

Предпочтительные варианты выполнения изобретения приведены в зависимых пунктах формулы изобретения и поясняются ниже в отдельности, как общий изобретательский замысел.

В соответствии с этим способ получения стального прокатного плоского изделия с пределом текучести не менее 700 МПа и долей бейнитной структуры не менее 70 об. % содержит согласно изобретению следующие этапы:

а) приготовление стального расплава следующего состава (в вес. %):

|     |                   |
|-----|-------------------|
| C:  | 0,05 – 0,08%,     |
| Si: | 0,015 – 0,500%,   |
| Mn: | 1,60 – 2,00%,     |
| P:  | до 0,025%,        |
| S:  | до 0,010%,        |
| Al: | 0,020 – 0,050%,   |
| N:  | до 0,006%,        |
| Cr: | до 0,40%,         |
| Nb: | 0,060 – 0,070%,   |
| B:  | 0,0005 – 0,0025%, |
| Ti: | 0,090 – 0,130%,   |

а также технически неизбежные примеси, в которые входят: до 0,12% Cu, до 0,100% Ni, до 0,010% V, до 0,004% Mo и до 0,004% Sb, остальное – железо;

б) разливка расплава на сляб;

в) повторный нагрев сляба до температуры 1200 – 1300°C;

г) черновая прокатка сляба при температуре 950 – 1250°C и суммарном обжатии не

менее 50%;

д) чистовая прокатка прокатанного начерно сляба, причём чистовая горячая прокатка завершается при температуре 800 – 880°C;

е) в течение не более 10 секунд после чистовой горячей прокатки начало интенсивного охлаждения стального начисто горячекатаного плоского изделия со скоростью не менее 40 К/с до температуры сматывания, составляющей от 550 до 620°C;

ж) сматывание стального начисто горячекатаного плоского изделия.

В основе способа согласно изобретению лежит стальной сплав, легирующие компоненты которого и их содержание в узких пределах так согласованы между собой, что при надлежащем осуществлении способа достигаются соответственно максимальные механические свойства и оптимальное качество поверхности.

Как поясняется ниже, легирующие компоненты и их содержание в выплавленном согласно изобретению на этапе а) стальном сплаве выбирается таким образом, чтобы при соблюдении предусмотренных согласно изобретению этапов надёжно могло бы быть получено стальное горячекатаное плоское изделие с комбинацией свойств, особенно пригодной для применения в облегчённых стальных конструкциях, в частности, в секторе производства грузовых автомобилей:

С: содержание углерода в обработанной согласно изобретению стали составляет 0,05 – 0,08 вес. %. Для достижения требуемых показателей прочности содержание С должно быть не менее 0,05 вес. %. Если же содержание углерода окажется слишком большим, то снизятся показатели вязкости или свариваемости, а также деформируемость обработанной согласно изобретению стали. По этой причине содержание углерода ограничено величиной не более 0,08 вес. %.

Si: кремний применяется в обработанной согласно изобретению стали в качестве раскислителя, а также для улучшения прочностных показателей. Если же содержание кремния будет слишком большим, то резко снижаются показатели вязкости, в частности, в зоне теплового воздействия при сварке. По этой причине содержание кремния в обработанной согласно изобретению стали не должно превышать 0,50 вес. %. Для надёжного предупреждения снижения качества поверхности содержание кремния может быть ограничено величиной не более 0,25 вес. %.

Mn: марганец добавляется в применяемую согласно изобретению сталь в количестве от 1,6 до 2,0 вес. % для задания требуемых прочностных показателей при хороших показателях вязкости. Если содержание марганца составляет менее 1,60 вес. %, то требуемые прочностные показатели не достигаются с достаточной надёжностью. Путём ограничения содержания марганца величиной не более 2,00 вес. % предупреждается ухудшение свариваемости, показателей вязкости, деформируемости и ликвации.

P:сопутствующий элемент фосфор ухудшает ударную вязкость и деформируемость. Поэтому его содержание не должно превышать верхнее пороговое значение 0,025 вес. %. Оптимально ограничивать содержание фосфора величиной менее 0,015 вес. %.

S:сера ухудшает ударную вязкость и деформируемость обработанной согласно изобретению стали из-за образования MnS. По этой причине содержание серы в обработанной согласно изобретению стали не должно составлять более 0,010 вес. %. Такое низкое содержание серы можно получить, как известно, например, обработкой с применением CaSi. Для надёжного исключения отрицательного воздействия серы на свойства обработанной согласно изобретению стали содержание серы может быть ограничено величиной не более 0,003 вес. %.

Al: алюминий также применяется в качестве раскислителя, препятствуя благодаря образованию AlN росту аустенитного зерна при аустенитизации. Если содержание

алюминия составляет менее 0,020 вес. %, то процессы раскисления протекают не полностью. Если же содержание алюминия превышает верхнюю границу 0,050 вес. %, то могут образовываться включения из  $Al_2O_3$ . Они отрицательно влияют на степень чистоты и показатели вязкости.

N:сопутствующий элемент азот образует вместе с алюминием AlN или вместе с титаном TiN. Если же содержание азота слишком большое, то ухудшаются показатели вязкости. Для предупреждения этого для обработанной согласно изобретению стали установлен верхний предел по содержанию азота, составляющий 0,006 вес. %.

Cr:хром может вводиться в обработанную согласно изобретению сталь факультативно для улучшения прочностных показателей. Если содержание хрома слишком большое, то это естественно отрицательно скажется на свариваемости и вязкости в зоне теплового воздействия. Поэтому для обработанной согласно изобретению стали верхний предел по содержанию хрома установлен равным 0,40 вес. %.

Nb:ниобий содержится в обработанной согласно изобретению стали для повышения прочностных показателей путём измельчения зёрен аустенитной структуры при прокатке с управляемой температурой или путём дисперсионного твердения при сматывании в рулон. Для этого в обработанной согласно изобретению стали содержание ниобия составляет от 0,060 до 0,070 вес. %. Если это содержание ниобия ниже указанного диапазона, то прочностные показатели не достигаются. Если же содержание ниобия превышает верхний предел указанного диапазона, то ухудшаются свариваемость и вязкость в зоне теплового воздействия при сварке.

B: содержание бора в обработанной согласно изобретению стали составляет 0,0005 – 0,0025 вес. %. Бор применяется для поддержания прочностных показателей и улучшения закаливаемости. Однако слишком большое содержание бора снижает показатели вязкости.

Ti:титан также способствует повышению прочностных свойств в результате предупреждения роста зёрен при аустенитизации или в результате дисперсионного твердения во время сматывания в рулон. Для того, чтобы это обеспечить, содержание титана в обработанной согласно изобретению стали должно составлять от 0,09 до 0,13 вес. %. Если же содержание титана меньше 0,09 вес. %, то требуемые по изобретению прочностные показатели не достигаются. Если верхний предел приведённого выше диапазона содержания титана превышает, то ухудшаются свариваемость и вязкость в зоне теплового воздействия при сварке.

Cu, Ni, V, Mo и Sb выступают в качестве сопутствующих элементов, попадающих в обрабатываемую согласно изобретению сталь в виде технически неизбежных примесей в процессе выплавки стали. Их содержание ограничивается количествами, которые не сказываются на требуемых согласно изобретению свойства обрабатываемой согласно изобретению стали. Для этого содержание меди ограничено количеством не более 0,12 вес. %, содержание никеля количеством менее 0,1 вес. %, содержание ванадия количеством не более 0,01 вес. %, содержание молибдена количеством менее 0,004 вес. % и содержание сурьмы количеством также менее 0,004 вес. %.

Для обеспечения хорошей свариваемости содержание элементов: C, Mn, Cr, Mo, V, Cu, Ni в сплаве согласно изобретению может задаваться в установленных согласно изобретению пределах таким образом, что для углеродного эквивалента CE, рассчитанного по формуле:

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

где:

%C – содержание C в вес. %,

%Mn – содержание Mn в вес. %,

%Cr – содержание Cr в вес. %,

%Mn – содержание Mn в вес. %,

%V – содержание V в вес. %,

5 %Cu – содержание Cu в вес. %,

%Ni – содержание Ni в вес. %,

будет действительно:

$CE \leq 0,5$  вес. %.

10 После отливки сляба снова проводится нагрев до температуры аустенитизации, составляющей 1200 – 1300°C. Верхний предел температурного диапазона, до которого нагревают сляб при аустенитизации, не должен быть превышен для исключения роста аустенитного зерна и интенсивного образования окалина. В заданном согласно изобретению диапазоне температуры повторного нагрева 1200 – 1300°C ещё не происходит повышенного образования красной окалина, способной снизить качество

15 поверхности полученного согласно изобретению стального прокатного плоского изделия. Красная окалина возникает при обработке слябов с составом согласно изобретению исключительно в процессе горячей прокатки (этапы «г», «д» способа согласно изобретению), если после повторного нагрева на поверхности сляба присутствует слишком много первичной окалина.

20 Нижний предел температуры повторного нагрева задаётся напротив таким образом, что при равномерном распределении температуры достигается требуемая гомогенизация структуры. С этой температуры начинается по существу полное растворение содержащихся в соответствующем слябе крупных выделений карбонитридов титана и ниобия в аустените. При заключительном сматывании в рулон начисто горячекатаного

25 стального плоского изделия (этап «ж» способа согласно изобретению) могут затем вновь образовываться мелкие выделения карбонитридов титана или ниобия, которые, как пояснялось, существенно способствуют повышению прочностных показателей. Таким образом гарантируется, что произведённые и имеющие состав согласно изобретению стальные прокатные плоские изделия будут регулярно иметь минимальный

30 предел текучести 700 МПа.

Согласно изобретению температура повторного нагрева во время аустенитизации соответствующего сляба составляет не менее 1200°C с тем, чтобы достигался требуемый эффект по возможности полного растворения выделений TiC и NbC. При температуре аустенитизации ниже 1200°C количество растворённых в аустените карбидных выделений

35 титана и ниобия настолько незначительно, что используемые согласно изобретению эффекты не наступают. Поэтому лежащая ниже 1200°C температура повторного нагрева при обработке стальных прокатных плоских изделий, имеющих состав согласно оптимальному выбору сплава по изобретению, могла бы не обеспечить требуемые прочностные показатели. Особенно надёжно достигается по возможности полное

40 растворение выделений TiC и NbC в том случае, когда температура повторного нагрева составляет не менее 1250°C.

Стальное прокатное плоское изделие, отвечающее самым жёстким требованиям к качеству своей поверхности, может быть получено в результате того, что перед черновой прокаткой полностью удаляется присутствующая на слябе окалина. Это может

45 достигаться таким образом, что с поверхности сляба после его выхода из печи и по возможности непосредственно перед черновой прокаткой полностью удаляется окалина. Для этого сляб может пропускаться через обычный промыватель для удаления окалина.

Для получения стального прокатного плоского изделия с оптимальным качеством

поверхности время  $t_1$ , которое требуется для перемещения сляба от рабочей позиции (повторный нагрев, этап в)) или для факультативно проводимого после повторного нагрева «удаления первичной окалины (этап в')» до начала конечной горячей прокатки (этап д)), может составлять не более 300 секунд. Это включает в себя оптимальным образом и черновую прокатку. За такое короткое время перемещения первичная окалина вновь возникает в таком малом количестве, что образующаяся из неё при горячей прокатке красная окалина не является вредной для качества поверхности полученного после горячей прокатки стального плоского изделия. В том случае, когда перед черновой прокаткой проводится удаление окалины, длительность доставки от агрегата для удаления окалины к клети черновой прокатки должна составлять не более 30 секунд. Следовательно при таком коротком времени доставки на предварительно очищенном от окалины слябе не образуется или образуется в любом случае лишь безвредный тонкий оксидный слой.

На этапе г) соответственно подготовленный сляб подвергается черновой прокатке при температуре 950 – 1250°C. Обжатие при черновой прокатке составляет в целом не менее 50%. При этом считается суммарным обжатием  $\Delta h_v$  отношение, выведенное из разницы толщин сляба до (толщина  $dV_v$ ) и после (толщина  $dN_v$ ) черновой прокатки и толщины  $dV_v$  сляба перед черновой прокаткой:  $(\Delta h_v [\%] = (dV_v - dN_v) / dV_v \times 100\%)$ .

Нижний предел диапазона температуры черновой прокатки и минимальный показатель суммарного обжатия  $\Delta h_v$  установлены при этом так, что процессы рекристаллизации в слябе после черновой прокатки могут полностью завершаться. Благодаря этому гарантируется образование мелкозернистой аустенитной структуры перед чистой прокаткой, в результате чего достигаются оптимизированные показатели вязкости и относительного удлинения при разрыве произведённого согласно изобретению стального прокатного плоского изделия.

Время выдержки и перерыва  $t_2$  между черновой и чистой прокатками ограничено 50 секундами для предупреждения нежелательного роста аустенитных зёрен.

На этапе д) за черновой прокаткой следует горячая прокатка прокатанного начерно сляба с получением стального горячекатаного плоского изделия толщиной обычно 3 – 15 мм. Стальные плоские прокатные изделия с такими толщинами называются на языке специалистов котельной сталью.

При этом конечная температура горячей прокатки составляет 800 – 880°C. Благодаря соблюдению такого диапазона конечной температуры горячей прокатки достигается сильно вытянутое аустенитное зерно в структуре изготовленной горячекатаной ленты. Благодаря сравнительно низкой конечной температуре горячей прокатки усиливается эффект этой прокатки. В структуре изготовленной горячекатаной ленты присутствует богатый дислокациями аустенит. После интенсивного охлаждения (этап е)) аустенит превращается в богатый дислокациями, мелкоструктурный бейнит, в результате чего возрастает предел текучести. Верхний предел диапазона конечной температуры горячей прокатки установлен таким, что не происходит рекристаллизации аустенита при горячей прокатке на чистой линии. Это также способствует образованию мелкозернистой структуры. Нижняя предельная температура составляет, по меньшей мере, 800°C с тем, чтобы во время прокатки не мог образовываться феррит.

Обжатие  $\Delta h_f$  при чистой прокатке составляет в целом не менее 70%, причём здесь обжатие  $\Delta h_f$  рассчитывается по формуле:  $\Delta h_f = (dV_f - dN_f) / dV_f \times 100\%$  (где:  $dV_f$  – толщина прокатного изделия на входе в линию чистой горячей прокатки,  $dN_f$  – толщина прокатного изделия на выходе из линии чистой горячей прокатки). Вследствие большого обжатия  $\Delta h_f$  происходит фазовое преобразование сильно

деформированного аустенита. Это положительно сказывается на мелкозернистость, в результате чего в структуре полученного согласно изобретению стального прокатного плоского изделия присутствуют зёрна малого размера.

После выхода стального начисто горячекатаного плоского изделия из последней  
 5 клетки чистой линии горячей прокатки начинается в течение не более 10 секунд интенсивное охлаждение, в результате которого стальное горячекатаное плоское изделие охлаждается со скоростью  $dT$ , равной не менее 40 К/с, до температуры сматывания в рулон, составляющей 550 – 620°C.

Перерыв для охлаждения после горячей прокатки и управляемым ускоренным  
 10 охлаждением не происходило нежелательных структурных прокатки составляет не более 10 с для предупреждения того, чтобы между горячей изменений.

Благодаря соблюдению заданного согласно изобретению диапазона температуры сматывания в рулон создаются условия для образования бейнитной структуры произведённого согласно изобретению стального прокатного плоского изделия.

Одновременно с этим выбор температуры намотки в рулон оказывает решающее  
 15 влияние на дисперсионное твердение. Для этого диапазон температуры намотки в рулон выбирается согласно изобретению таким образом, что он, с одной стороны, лежит ниже температуры начала образования бейнита и, с другой стороны, соответствует максимуму дисперсионных выделений, необходимых для образования выделений карбонитридов. Однако слишком низкая температура намотки в рулон может привести  
 20 к тому, что более не будет полезен потенциал выделений и следовательно не будет достигнут требуемый минимальный предел текучести. При этом условия охлаждения выбираются согласно изобретению так, чтобы в стальном горячекатаном плоском изделии содержалась непосредственно перед намоткой в рулон бейнитная структура  
 25 при фазовой доле не менее 70%. Последующее образование бейнита происходит тогда в рулоне. С учётом требуемой комбинации свойств оказывается при этом оптимальным, чтобы структура полученного согласно изобретению стального горячекатаного плоского изделия после намотки в рулон состояла в техническом смысле полностью из бейнита. Это достигается в результате соблюдения заданного согласно изобретению  
 30 диапазона температуры намотки в рулон.

Благодаря высокой скорости охлаждения предупреждается образование нежелательных фазовых компонентов. Для получения оптимально ровного стального прокатного изделия скорость охлаждения после горячей прокатки может быть при этом ограничена 150 К/с.

Предел текучести стальных горячекатаных плоских изделий согласно изобретению,  
 35 произведённых описанным выше образом, надёжно составляет 700 – 850 МПа. Их относительное удлинение до разрыва составляет при этом не менее 12%. Столь же регулярно достигается предел прочности при растяжении стальных прокатных плоских изделий согласно изобретению, составляющий 750 – 950 МПа. Ударная вязкость изделий  
 40 согласно изобретению составляет при -20°C от 50 до 110 Дж и при -40°C - от 30 до 110 Дж.

Полученные согласно изобретению стальные прокатные плоские изделия имеют мелкозернистую структуру со средним размером зерна, не превышающим 2 мкм, что обеспечивает хорошие показатели относительного удлинение при разрыве и вязкости.

При использовании способа согласно изобретению приведённые выше свойства  
 45 стального горячекатаного плоского изделия сохраняются после намотки в состоянии после прокатки. Дополнительная термообработка для получения или усиления определённых важных свойств предназначенного для применения в автомобилестроении

высокопрочного листа не требуется.

Ниже изобретение подробнее поясняется с помощью примеров выполнения.

Расплавы А – Е стали с приведённым в таблице 1 составом были приготовлены и разлиты известным образом с получением слябов 1 – 26.

5 Затем состоящие из сталей А – Е слябы были нагреты до температуры TW повторного нагрева.

Из печи повторного нагрева повторно нагретые слябы были перемещены в течение менее 30 секунд в промыватель для удаления окалина, в котором присутствовавшая на слябах первичная окалина была удалена.

10 Затем выходящие из промывателя слябы были перемещены к клети черновой прокатки, в которой слябы прокатывались начерно при температуре TVW и общем обжатию  $\Delta h_v$ .

После этого прокатанные начерно слябы подверглись чистовой горячей прокатке в линии чистовой горячей прокатки с получением горячекатаных лент толщиной BD 15 и шириной ВВ. Горячая прокатка завершилась общим обжатием  $\Delta h_f$  в линии чистовой горячей прокатки при температуре горячей прокатки TEW. Время, прошедшее между выходом из промывателя для удаления окалина и началом чистовой горячей прокатки, составило соответственно менее 300 с.

Вышедшее из последней клети стальное начисто горячекатаное плоское изделие 20 после перерыва  $t_r$  от 1 до 7 с, во время которого происходило медленное охлаждение на воздухе, было затем интенсивно охлаждено водой со скоростью  $dT$  от 50 до 120 К/с до температуры НТ сматывания в рулон. После охлаждения стальные прокатные плоские изделия уже имели не менее 70 об. % бейнитной структуры.

При этой температуре НТ сматывания полученные горячекатаные ленты были 25 смотаны в рулон. В процессе охлаждения стальных прокатных плоских изделий в рулоне произошло полное превращение структуры в бейнит, вследствие чего полученные стальные прокатные плоские изделия обладали в техническом смысле 100 об. % бейнитной структуры.

В таблицах 2a, 2b приведены заданные при обработке слябов 1 – 26 технологические 30 параметры: температура TW повторного нагрева, температура TVW черновой прокатки, общее обжатие  $\Delta h_v$  при черновой прокатке, время  $t_1$  между удалением окалина, проводившимся после повторного нагрева и перед черновой прокаткой, и началом чистовой горячей прокатки, время  $t_2$  между черновой прокаткой и горячей прокаткой, общее обжатие  $\Delta h_f$  при чистовой прокатке, температура TEW конечной прокатки, 35 перерыв  $t_r$  для охлаждения между окончанием горячей прокатки и началом форсированного охлаждения, скорость охлаждения  $dT$ , температура НТ при намотке, толщина BD ленты и ширина ВВ ленты.

Механические свойства и структура полученных горячекатаных лент были исследованы.

40 Испытания на растяжение для определения предела текучести  $ReH$ , предела прочности  $Rm$  при растяжении и относительного удлинения  $A$  при разрыве проводились в соответствии со стандартом DIN EN ISO 6892-1 на продольных образцах горячекатаных лент.

Испытания на ударный изгиб для определения ударной вязкости  $Av$  при  $-20^\circ\text{C}$  или 45  $-40^\circ\text{C}$  и  $-60^\circ\text{C}$  проводились на продольных образцах в соответствии со стандартом DIN EN ISO 148-1.

Исследования структуры проводились с помощью оптического и растрового электронного микроскопов. Для этого были отобраны пробы из одной четверти ширины

ленты, подготовили в виде продольного шлифа и протравили ниталом (т.е. спиртовой азотной кислотой при доли азотной кислоты 3 об. %) или дисульфитом натрия.

Определение структурных компонентов проводилось поверхностным анализом в слое образца, равном 1/3 толщины листа, как описано у Н. Schumann und Н. Oettel

“Metallographie” 14-е издание, 2005, изд. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, г. Вайнхайм.

Механические свойства и структурные компоненты произведённых согласно изобретению горячекатаных лент приведены в таблице 3. Полученные способом настоящего изобретения ленты и листы обладают высокими прочностными показателями при хороших показателях вязкости и хорошем относительном удлинении при разрыве.

Пределы текучести полученных описанным выше способом горячекатаных лент составляют от 700 до 790 МПа. Относительное удлинение при разрыве составляет не менее 12%, предел прочности при растяжении – 750 – 880 МПа. Ударная вязкость при -20°C находится в пределах 60 – 100 Дж. При -40°C ударная вязкость составляет от 40 до 75 Дж и при -60°C - от 30 до 70 Дж.

Таблица 1

| Сталь | C     | Si   | Mn   | P     | S      | Al    | N      | Cr   | Nb    | B      | Ti    | Cu   | Ni   | V     | Mo    | Sb    |
|-------|-------|------|------|-------|--------|-------|--------|------|-------|--------|-------|------|------|-------|-------|-------|
| A     | 0,060 | 0,42 | 1,77 | 0,012 | 0,0010 | 0,034 | 0,0046 | 0,04 | 0,062 | 0,0020 | 0,110 | 0,02 | 0,03 | 0,010 | 0,004 | 0,004 |
| B     | 0,053 | 0,49 | 1,75 | 0,015 | 0,0014 | 0,034 | 0,0049 | 0,06 | 0,066 | 0,0020 | 0,091 | 0,02 | 0,03 | 0,005 | 0,004 | 0,004 |
| C     | 0,061 | 0,22 | 1,79 | 0,014 | 0,0021 | 0,050 | 0,0047 | 0,04 | 0,063 | 0,0019 | 0,097 | 0,02 | 0,02 | 0,003 | 0,004 | 0,004 |
| D     | 0,065 | 0,20 | 1,8  | 0,014 | 0,0021 | 0,040 | 0,0047 | 0,04 | 0,065 | 0,0005 | 0,110 | 0,02 | 0,02 | 0,003 | 0,004 | 0,004 |
| E     | 0,070 | 0,03 | 1,89 | 0,011 | 0,0014 | 0,042 | 0,0051 | 0,04 | 0,060 | 0,0005 | 0,130 | 0,02 | 0,03 | 0,008 | 0,004 | 0,004 |

Данные в вес. %, остальное – железо и неизбежные примеси

Таблица 2a

| №  | Сталь | Темп. повт. нагрева (TW) | Общее обжатие, Δhv | Темп. черн. прокатки | Время, t <sub>1</sub> | Время, t <sub>2</sub> | Обжатие, Δhf | Конеч. темп. прокатки, TEW | Перерыв для охл., t <sub>p</sub> | Скорость охлаждения | Температура намотки | Толщина ленты | Ширина ленты |
|----|-------|--------------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------|----------------------------|----------------------------------|---------------------|---------------------|---------------|--------------|
|    |       | °C                       | %                  | °C                   | с                     | с                     | %            | °C                         | с                                | К/с                 | °C                  | мм            | мм           |
| 1  | A     | 1293                     | 85                 | 1070                 | 220                   | 40                    | 90           | 905                        | 1                                | 100                 | 600                 | 4             | 1525         |
| 2  | A     | 1296                     | 80                 | 1065                 | 220                   | 40                    | 92           | 915                        | 1                                | 100                 | 600                 | 4             | 1525         |
| 3  | A     | 1288                     | 80                 | 1045                 | 225                   | 40                    | 92           | 895                        | 2                                | 100                 | 605                 | 4             | 1525         |
| 4  | A     | 1287                     | 85                 | 1045                 | 230                   | 42                    | 90           | 880                        | 2                                | 100                 | 605                 | 4             | 1530         |
| 5  | A     | 1269                     | 82                 | 1055                 | 230                   | 40                    | 91           | 890                        | 2                                | 100                 | 600                 | 4             | 1525         |
| 6  | A     | 1300                     | 82                 | 1050                 | 240                   | 45                    | 82           | 835                        | 3                                | 70                  | 600                 | 8             | 1545         |
| 7  | A     | 1296                     | 82                 | 1050                 | 245                   | 41                    | 82           | 810                        | 4                                | 70                  | 600                 | 8             | 1545         |
| 8  | A     | 1305                     | 76                 | 1060                 | 240                   | 42                    | 86           | 825                        | 4                                | 70                  | 600                 | 8             | 1755         |
| 9  | A     | 1247                     | 76                 | 1040                 | 260                   | 44                    | 83           | 800                        | 6                                | 50                  | 580                 | 10            | 1530         |
| 10 | B     | 1291                     | 80                 | 1060                 | 230                   | 40                    | 90           | 910                        | 2                                | 100                 | 600                 | 5             | 1630         |
| 11 | B     | 1309                     | 80                 | 1110                 | 240                   | 44                    | 90           | 870                        | 2                                | 100                 | 610                 | 5             | 1630         |
| 12 | B     | 1288                     | 85                 | 1070                 | 230                   | 40                    | 88           | 890                        | 2                                | 100                 | 600                 | 5             | 1540         |
| 13 | B     | 1304                     | 76                 | 1055                 | 240                   | 40                    | 90           | 860                        | 2                                | 90                  | 600                 | 6             | 1540         |
| 14 | B     | 1285                     | 85                 | 1030                 | 255                   | 42                    | 75           | 800                        | 5                                | 50                  | 590                 | 10            | 1550         |
| 15 | B     | 1296                     | 85                 | 1100                 | 210                   | 40                    | 93           | 850                        | 2                                | 120                 | 600                 | 3             | 1280         |
| 16 | B     | 1298                     | 82                 | 1090                 | 200                   | 40                    | 93           | 900                        | 1                                | 120                 | 580                 | 3             | 1275         |

Таблица 2a

| № | Сталь | Темп. повт. нагрева (TW) | Общее обжатие, Δhv | Темп. черн. прокатки | Время, t <sub>1</sub> | Время, t <sub>2</sub> | Обжатие, Δhf | Конеч. темп. прокатки, TEW | Перерыв для охл., t <sub>p</sub> | Скорость охлаждения | Температура намотки | Толщина ленты | Ширина ленты |
|---|-------|--------------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------|----------------------------|----------------------------------|---------------------|---------------------|---------------|--------------|
|---|-------|--------------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------|----------------------------|----------------------------------|---------------------|---------------------|---------------|--------------|

|    |   | °C   | %  | °C   | с   | с  | %  | °C  | с | К/с | °C  | мм | мм   |
|----|---|------|----|------|-----|----|----|-----|---|-----|-----|----|------|
| 17 | В | 1206 | 82 | 1067 | 205 | 40 | 93 | 870 | 1 | 120 | 610 | 3  | 1275 |
| 18 | С | 1289 | 85 | 1040 | 260 | 45 | 75 | 800 | 6 | 50  | 550 | 10 | 1550 |
| 19 | С | 1291 | 85 | 1090 | 235 | 42 | 85 | 880 | 2 | 90  | 605 | 6  | 1535 |
| 20 | С | 1214 | 82 | 1070 | 230 | 40 | 91 | 865 | 2 | 100 | 600 | 4  | 925  |
| 21 | Д | 1290 | 85 | 1090 | 205 | 40 | 93 | 890 | 1 | 120 | 620 | 3  | 1280 |
| 22 | Д | 1285 | 82 | 1080 | 200 | 40 | 93 | 900 | 1 | 120 | 575 | 3  | 1275 |
| 23 | Е | 1290 | 76 | 1060 | 260 | 43 | 83 | 800 | 6 | 50  | 598 | 10 | 1550 |
| 24 | Е | 1290 | 78 | 1090 | 235 | 40 | 89 | 860 | 3 | 90  | 615 | 6  | 1535 |
| 25 | Е | 1290 | 80 | 1040 | 260 | 45 | 76 | 800 | 7 | 50  | 590 | 12 | 1530 |
| 26 | Е | 1285 | 78 | 1045 | 260 | 45 | 73 | 822 | 7 | 50  | 570 | 15 | 1530 |

Таблица 3

| №  | Сталь | Слой на рулоне | Испытание на растяжение, вдоль |     |      | Испытание на ударный изгиб, вдоль |         |         | Структурные компоненты |
|----|-------|----------------|--------------------------------|-----|------|-----------------------------------|---------|---------|------------------------|
|    |       |                | ReH                            | Rm  | A    | Av-20°C                           | Av-40°C | Av-60°C |                        |
|    |       |                | МПа                            | МПа | %    | Дж                                | Дж      | Дж      |                        |
| 1  | А     | Начало         | 770                            | 852 | 19,0 | н. о.                             | н. о.   | н. о.   | 100 бейнит             |
| 2  | А     | Начало         | 762                            | 837 | 17,0 | н. о.                             | н.о.    | н. о.   | 100 бейнит             |
| 3  | А     | Начало         | 749                            | 819 | 18,0 | н. о.                             | н. о.   | н.о.    | 100 бейнит             |
| 4  | А     | Начало         | 754                            | 818 | 21,0 | н. о.                             | н. о.   | н.о.    | 100 бейнит             |
| 5  | А     | Начало         | 737                            | 809 | 24,0 | н. о.                             | н. о.   | н.о.    | 100 бейнит             |
| 6  | А     | Начало         | 736                            | 834 | 20,3 | 70                                | 44      | 31      | 100 бейнит             |
| 7  | А     | Начало         | 739                            | 842 | 15,7 | 81                                | 62      | 31      | 100 бейнит             |
| 8  | А     | Начало         | 716                            | 817 | 17,2 | 62                                | 40      | 31      | 100 бейнит             |
| 9  | А     | Начало         | 733                            | 832 | 23,5 | 79                                | 68      | 65      | 100 бейнит             |
| 10 | В     | Начало         | 750                            | 852 | 16,0 | н. о.                             | н. о.   | н.о.    | 100 бейнит             |
| 11 | В     | Начало         | 752                            | 841 | 22,0 | н. о.                             | н. о.   | н.о.    | 100 бейнит             |
| 12 | В     | Начало         | 736                            | 829 | 20,0 | н. о.                             | н. о.   | н.о.    | 100 бейнит             |
| 13 | В     | Начало         | 734                            | 860 | 17,0 | 99                                | 48      | 33      | 100 бейнит             |
| 14 | В     | Начало         | 717                            | 846 | 18,0 | 84                                | 58      | 30      | 100 бейнит             |
| 15 | В     | Начало         | 782                            | 864 | 23,0 | н. о.                             | н. о.   | н.о.    | 100 бейнит             |
| 16 | В     | Начало         | 779                            | 857 | 24,0 | н. о.                             | н. о.   | н.о.    | 100 бейнит             |
| 17 | В     | Начало         | 720                            | 819 | 23,0 | н. о.                             | н. о.   | н.о.    | 100 бейнит             |
| 18 | С     | Начало         | 705                            | 813 | 19,1 | 97                                | 73      | 30      | 100 бейнит             |
| 19 | С     | Начало         | 718                            | 783 | 24,0 | 80                                | 60      | 31      | 100 бейнит             |
| 20 | С     | Начало         | 710                            | 790 | 24,0 | н. о.                             | н. о.   | н.о.    | 100 бейнит             |
| 21 | Д     | Начало         | 720                            | 850 | 22,0 | н. о.                             | н. о.   | н.о.    | 100 бейнит             |
| 22 | Д     | Начало         | 760                            | 823 | 22,0 | н. о.                             | н. о.   | н.о.    | 100 бейнит             |
| 23 | Е     | Начало         | 712                            | 820 | 20,0 | 97                                | 73      | 30      | 100 бейнит             |
| 24 | Е     | Начало         | 713                            | 825 | 23,0 | 80                                | 60      | 31      | 100 бейнит             |
| 25 | Е     | Начало         | 733                            | 809 | 21,0 | 72                                | 53      | 42      | 100 бейнит             |
| 26 | Е     | Начало         | 727                            | 821 | 19,2 | 83                                | 76      | 67      | 100 бейнит             |

н.о. – не определено

## (57) Формула изобретения

1. Способ получения стального плоского изделия с пределом текучести не менее 700 МПа и с не менее 70% бейнитной структуры, включающий в себя следующие этапы:

а) приготовление стального расплава следующего состава, вес. %:

С 0,05 - 0,08,

Si 0,015 - 0,500,

Mn 1,60 - 2,00,

P до 0,025,

S до 0,010,

Al 0,020 - 0,050,

N до 0,006,

Cr до 0,40,

Nb 0,060 - 0,070,

5 B 0,0005 - 0,0025,

Ti 0,090 - 0,130,

а также технически неизбежные примеси, в которые входят: до 0,12 Cu, до 0,100 Ni, до 0,010 V, до 0,004 Mo и до 0,004 Sb,

остальное – железо,

10 б) разливка расплава для получения сляба,

в) повторный нагрев сляба до температуры 1200 - 1300°C,

г) черновая прокатка сляба при температуре 950 - 1250°C с суммарным обжатием не менее 50%,

д) горячая чистовая прокатка чернового сляба, завершающаяся при температуре 15 800 - 880°C,

е) интенсивное охлаждение, начинающееся после горячей чистовой прокатки не более чем через 10 с, подвергнутого горячей чистовой прокатке плоского стального изделия со скоростью охлаждения не менее 40 К/с до температуры сматывания, составляющей 550 - 620°C,

20 ж) сматывание подвергнутого горячей чистовой прокатке плоского стального изделия.

2. Способ по п. 1, характеризующийся тем, что применяется следующее условие для углеродного эквивалента CE, посчитанного по формуле  $CE = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V) / 5 + (Cu + Ni) / 15$ , где

25 C - содержание C, вес. %,

Mn - содержание Mn, вес. %,

Cr - содержание Cr, вес. %,

Mo - содержание Mo, вес. %,

V - содержание V, вес. %,

30 Cu - содержание Cu, вес. %,

Ni - содержание Ni, вес. %,

стального расплава, приготовленного на этапе а):

$CE \leq 0,5$  вес. %.

3. Способ по п. 1 или 2, характеризующийся тем, что температура повторного нагрева 35 составляет 1250 - 1300°C.

4. Способ по любому из пп. 1-3, характеризующийся тем, что на этапе в'), находящемся между повторным нагревом (этап в)) и черновой прокаткой (этап г)), удаляется первичная окалина, налипшая на обработанном слябе.

5. Способ по любому из пп. 1-4, характеризующийся тем, что время перемещения 40 сляба от каждой предшествующей стадии (этап в) или опционально этап в')) к месту горячей чистовой прокатки (этап д)) не превышает 300 с.

6. Способ по любому из пп. 1-5, характеризующийся тем, что время выдержки между черновой прокаткой (этап г)) и горячей чистовой прокаткой (этап д)) составляет не более 50 с.

7. Способ по любому из пп. 1-6, характеризующийся тем, что скорость охлаждения 45 на этапе е) составляет не более 150 К/с.

8. Способ по любому из пп. 1-7, характеризующийся тем, что толщина полученного после горячей прокатки стального горячекатаного плоского изделия составляет 3 - 15

мм.

9. Способ по любому из пп. 1-8, характеризующийся тем, что предел текучести стального горячекатаного плоского изделия после намотки составляет 700 - 850 МПа.

10. Способ по любому из пп. 1-9, характеризующийся тем, что относительное  
5 удлинение при разрыве полученного после намотки стального горячекатаного плоского изделия составляет не менее 12%.

11. Способ по любому из пп. 1-10, характеризующийся тем, что предел прочности при растяжении полученного после намотки стального горячекатаного плоского изделия составляет 750 - 950 МПа.

10 12. Способ по любому из пп. 1-11, характеризующийся тем, что ударная вязкость полученных после намотки стальных горячекатаных плоских изделий при -20°C составляет от 50 до 110 Дж.

13. Способ по любому из пп. 1-12, характеризующийся тем, что полученные после намотки стальные горячекатаные плоские изделия содержат, за исключением технически  
15 неизбежных прочих структурных компонентов, только структуру бейнита.

14. Способ по любому из пп. 1-13, характеризующийся тем, что средний диаметр зёрен в структуре полученных после намотки стальных горячекатаных плоских изделий составляет не более 20 мкм.

20

25

30

35

40

45