



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2014110120/02, 25.05.2012

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
25.05.2012

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
25.11.2011 CN 201110383513.1

(43) Дата публикации заявки: 20.09.2015 Бюл. № 26

(45) Опубликовано: 10.08.2016 Бюл. № 22

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: CN 102041458 A, 04.05.2011. CN
101691640 A, 07.04.2010. CN 101638755 A,
03.02.2010. UA 79531 C2, 25.06.2007. RU 2210603
C2, 20.08.2003.(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на
национальной фазе: 14.03.2014(86) Заявка РСТ:
CN 2012/076058 (25.05.2012)(87) Публикация заявки РСТ:
WO 2013/075473 (30.05.2013)

Адрес для переписки:

192007, Санкт-Петербург, а/я 146, ООО "АИС
поли-ИНФОРМ-патент"

(72) Автор(ы):

ЧЖАН Айвэнь (CN),
ВАН Годун (CN),
ЦЗИАО Сыхай (CN)

(73) Патентообладатель(и):

БАОШАН АЙРОН ЭНД СТИЛ КО., ЛТД.
(CN)

(54) ИЗНОСОСТОЙКАЯ СТАЛЬНАЯ ПОЛОСА И СПОСОБ ЕЕ ПРОИЗВОДСТВА

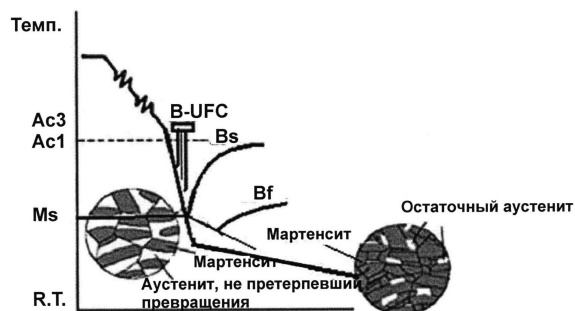
(57) Реферат:

Изобретение относится к высокопрочной стальной полосе, в частности к высокопрочной износостойкой стальной полосе с твердостью по Бринеллю $\geq \text{HB } 420$, и к способу ее производства. Полоса имеет следующий химический состав, вес. %: C 0,205-0,25, Si 0,20-1,00, Mn 1,0-1,5, Al 0,02-0,04, Ti 0,01-0,03, N $\leq 0,006$, Ca $\leq 0,005$, более одного элемента из следующих: Cr $\leq 0,70$, Ni $\leq 0,50$, Mo $\leq 0,30$, неустраняемые включения P $\leq 0,015$, S $\leq 0,010$, остальное - Fe. Способ производства полосы включает вакуумную дегазацию стали, непрерывное литье или литье под давлением расплавленной стали. При этом при непрерывном литье получают сляб, а при литье под давлением

получают пруток. Нагрев сляба или прутка осуществляют при 1150-1250°C, однопроходную или многопроходную прокатку в более чем три прохода ведут в зоне рекристаллизации аустенита, при этом суммарный коэффициент обжатия $\geq 70\%$, а температура конца прокатки $\geq 860^\circ\text{C}$. Водное охлаждение прокатной стальной полосы осуществляют с минимальной скоростью для получения мартенсита $V_{\text{мин}}$ около 50°C/с до температуры мартенсита M_s в диапазоне 145-185°C, последующее охлаждение полосы воздухом до комнатной температуры, при этом коэффициент закалки $P = 2,7C + 0,4Si + Mn + 0,45Ni + 0,8Cr + 0,45Cu + 2Mo$, минимальная скорость

охлаждения для получения мартенсита $V_{мин}$ равна $lg V_{мин}=2,94-0,75P$, а начальная температура образования мартенсита $M_s=561-474C-33Mn-17Cr-17Ni-21Mo$. Технический результат заключается в получении полосы повышенной износостойкости толщиной 6-25 мм,

имеющей структуру мартенсита и остаточного аустенита (5-10%), твердость $\geq HB\ 420$, предел текучести $\geq 1000\text{ МПа}$, удлинение $\geq 18\%$, $A_{kv} \geq 27\text{ Дж при } -40^\circ\text{C}$, улучшенный изгиб в охлажденном состоянии и эффект самозакаливании при ее эксплуатации. 3 н. и 16 з.п. ф-лы, 5 табл., 3 ил.



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.

C22C 38/50 (2006.01)*C21D* 8/02 (2006.01)(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2014110120/02, 25.05.2012

(24) Effective date for property rights:
25.05.2012

Priority:

(30) Convention priority:
25.11.2011 CN 201110383513.1

(43) Application published: 20.09.2015 Bull. № 26

(45) Date of publication: 10.08.2016 Bull. № 22

(85) Commencement of national phase: 14.03.2014

(86) PCT application:
CN 2012/076058 (25.05.2012)(87) PCT publication:
WO 2013/075473 (30.05.2013)

Mail address:

192007, Sankt-Peterburg, a/ja 146, OOO "AIS poli-
INFORM-patent"

(72) Inventor(s):

**ZHANG Aiwen (CN),
WANG Guodong (CN),
JIAO Sihai (CN)**

(73) Proprietor(s):

BAOSHAN IRON & STEEL CO., LTD. (CN)(54) **WEAR-RESISTANT STEEL STRIP AND PRODUCTION METHOD THEREOF**

(57) Abstract:

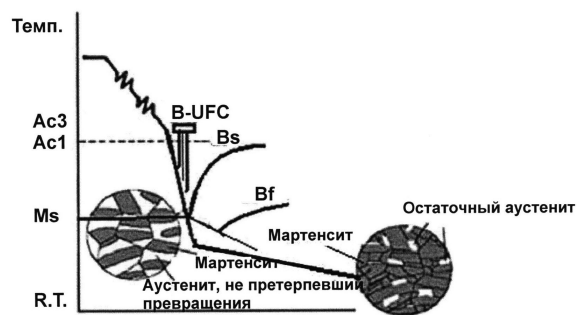
FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: invention relates to high-strength steel strip, in particular, to high-strength wear-resistant steel strip with Brinell hardness \geq HB 420, and method of its production. Strip has following chemical composition, wt%: C 0.205-0.25, Si 0.20-1.00, Mn 1.0-1.5, Al 0.02-0.04, Ti 0.01-0.03, N \leq 0.006, Ca \leq 0.005, more than one element from following: Cr \leq 0.70, Ni \leq 0.50, Mo \leq 0.30, unavoidable inclusion P \leq 0.015, S \leq 0.010, Fe - balance. Method for production of strip includes vacuum degassing of steel, continuous casting or injection moulding of molten steel. During continuous casting slab is obtained, and in casting under pressure bar is obtained. Heating of slab or bar is carried out at 1,150-1,250 °C, single-pass or multiple-pass rolling in more than three passes is performed in recrystallisation zone of austenite, wherein total reduction factor is \geq 70 %, and rolling end temperature is \geq 860 °C. Water cooling of rolling steel strip is performed with minimum speed to obtain martensite

Vmin about 50 °C/s to temperature of martensite Ms in range of 145-185 °C, further cooling air to room temperature, coefficient of quenching $P = 2.7C + 0.4Si + Mn + 0.45Ni + 0.8Cr + 0.45Cu + 2Mo$, minimum cooling rate for producing martensite Vmin is equal to $\lg V_{min} = 2.94 - 0.75P$, and initial temperature of formation of martensite $Ms = 561 - 474C - 33Mn - 17Cr - 17Ni - 21Mo$.

EFFECT: production of high wear resistance strip with thickness of 6-25 mm, having a structure of martensite and residual austenite (5-10 %), hardness \geq HB 420, yield strength \geq 1,000 MPa, elongation \geq 18 %, $A_{kv} \geq 27$ J at -40 °C, better bend under cool conditions and self-quenching effect during operation thereof.

19 cl, 5 tbl, 3 dwg



Фиг. 1

RU 2 5 9 3 5 6 6 C 2

RU 2 5 9 3 5 6 6 C 2

Область изобретения

Настоящее изобретение относится к высокопрочной стальной полосе, в частности к высокопрочной износостойкой стальной полосе с твердостью по Бринеллю $\geq \text{HB } 420$, и к способу ее производства.

5 Предшествующий уровень техники

Износ является одним из основных видов материальных повреждений и может стать причиной весьма существенного экономического ущерба. Оборудование, применяемое в таких отраслях, как горная металлургия, сельское хозяйство и угольная промышленность, в основном, выходит из строя именно из-за износа материалов. По статистике, в индустриализированных странах экономический ущерб, вызываемый износом механического оборудования и компонентов, составляет около 4% валового национального продукта, при этом износ от истирания составляет 50% от суммарного износа металлических изделий. В Китае ежегодный расход стали из-за износа материала превышает один миллион тонн, из которых 60-80 тысяч тонн стальной полосы ежегодно расходуются на одних лишь средних желобах скребковых конвейеров в угледобывающей промышленности.

Высокопрочная низколегированная износостойкая сталь является важным типом стали, который широко используется в таких областях, как производство оборудования для горной промышленности, инженерное машиностроение, производство сельскохозяйственного оборудования и железнодорожного оборудования. Стремительное развитие промышленности Китая приводит к тому, что различные виды механического оборудования усложняются, становятся больше и легче, при этом для производства оборудования требуется высокопрочная низколегированная износостойкая сталь, которая имеет не только повышенную прочность и твердость, но и хорошую ударную вязкость, а также имеет преимущества при штамповке и формовании. В последние десятилетия наблюдается стремительный прогресс в сфере исследования и применения высокопрочной износостойкой стали. Этот тип стали получают из высокопрочной низколегированной свариваемой стали, которая имеет хорошую износостойкость, а срок ее службы в несколько раз больше, чем у традиционной конструкционной стальной полосы; процесс ее производства очень прост и обычно предусматривает закалку и отпуск сразу после прокатки или контролируруемую прокатку и контролируемое охлаждение для повышения прочности.

В области высокопрочной износостойкой стали известно много связанных патентов и патентных заявок как в Китае, так и в других странах. Для получения сверхпрочной низкоуглеродистой (0,205-0,25%) износостойкой стали в патентах JP 1255622 A, JP 2002020837 A, CN 101469390, CN 101186960 A и CN 101775545 A добавляют ниобий Nb, ванадий V или бор B, при этом в патентах JP 2002020837 A, JP 2002194499 A, CN 1208776 A, CN 101469390 A, CN 101186960 A и CN 101775545 A требуется добавлять множество дорогостоящих легирующих элементов. Что касается процессов, в большинстве этих патентов применяется закалка (прямая закалка или нагрев и закалка вне линии) и отпуск вне линии, при этом низкотемпературная ударопрочность готовой стальной полосы при -40°C невысока, а именно, в основном, находится в диапазоне 17-50 Дж, что не соответствует требованиям потребителей.

Износостойкая стальная полоса Hardox 400 (4-32 мм) (вес. %: $\text{C} \leq 0,18$, $\text{Si} \leq 0,70$, $\text{Mn} \leq 1,6$, $\text{P} \leq 0,025$, $\text{S} \leq 0,010$, $\text{Ni} \leq 0,25$, $\text{Cr} \leq 1,0$, $\text{Mo} \leq 0,25$, $\text{B} \leq 0,004$) производства шведской компании SSAB имеет низкое содержание дорогостоящих легирующих элементов, твердость в диапазоне 370-430 HBW и хорошую износостойкость. Стальная полоса толщиной 20 мм, как правило, имеет предел текучести 1000 МПа, удлинение A_{50} 16% и работу удара

A_{kv} (для продольных образцов) 45 Дж при -40°C . Несмотря на высокую твердость, прочность и износостойкость, значения ударопрочности при стандартных и физических испытаниях невысоки, также отсутствует эффект самозакаливания (ТРИП).

В настоящее время существует потребность в создании высокопрочной износостойкой стальной полосы с эффектом самозакаливания.

Раскрытие изобретения

Перед настоящим изобретением ставится задача создания высокопрочной износостойкой стальной полосы с твердостью по Бринеллю $\geq \text{HB } 420$, толщиной, в частности, 6-25 мм.

Для решения вышеупомянутой задачи износостойкая стальная полоса с твердостью по Бринеллю $\geq \text{HB } 420$, имеющая толщину 6-25 мм и следующий химический состав, вес. %: C 0,205-0,25, Si 0,20-1,00, Mn 1,0-1,5, Al 0,02-0,04, Ti 0,01-0,03, N $\leq 0,006$, Ca $\leq 0,005$, более одного элемента из следующих: Cr $\leq 0,70$, Ni $\leq 0,50$, Mo $\leq 0,30$, неустраняемые включения P $\leq 0,015$, S $\leq 0,010$, остальное - Fe.

Структурно стальная полоса состоит из мартенсита и остаточного аустенита, при этом доля остаточного аустенита составляет 5-10%, ее углеродный эквивалент C_{eq} составляет 0,57-0,64, полоса имеет толщину 6-15 мм и твердость по Бринеллю $\geq \text{HB } 420$.

Предпочтительно, чтобы содержание углерода C составляло 0,205-0,245 вес. %, кремния Si - 0,20-0,99 вес. %, марганца Mn - 1,11-1,45 вес. %, фосфора P $\leq 0,009$ вес. %, серы S $\leq 0,004$ вес. %, алюминия Al - 0,021-0,039 вес. %, титана Ti - 0,013-0,022 вес. %, азота N - 0,0033-0,004 вес. %, кальция Ca - 0,001-0,003 вес. %, хрома Cr - 0,35-0,65 вес. %, никеля Ni - 0,16-0,40 вес. %, молибдена Mo - 0,18-0,24 вес. %.

Еще одной задачей настоящего изобретения является создание способа производства высокопрочной износостойкой стальной полосы с твердостью по Бринеллю $\geq \text{HB } 420$.

Способ производства вышеупомянутой полосы включает вакуумную дегазацию стали, непрерывное литье или литье под давлением расплавленной стали, при этом при непрерывном литье получают сляб, а при литье под давлением получают прутки, нагрев сляба или прутка при температуре 1150-1250 $^{\circ}\text{C}$, однопроходную или многопроходную (более трех проходов) прокатку в зоне рекристаллизации аустенита, при этом суммарный коэффициент обжатия $\geq 70\%$, а температура конца прокатки $\geq 860^{\circ}\text{C}$, водное охлаждение прокатной стальной полосы с минимальной скоростью для получения мартенсита $V_{\text{мин}}$ около 50 $^{\circ}\text{C}/\text{с}$ до температуры мартенсита M_s в диапазоне 145-185 $^{\circ}\text{C}$, последующее охлаждение полосы воздухом до комнатной температуры, при этом коэффициент затвердевания P рассчитывается по формуле: $P = 2,7C + 0,4Si + Mn + 0,45Ni + 0,8Cr + 0,45Cu + 2Mo$, где C, Si, Mn, Ni, Cr, Cu, Mo соответствуют содержанию этих элементов в стальной полосе в вес. %, минимальная скорость охлаждения для получения мартенсита $V_{\text{мин}}$ рассчитывается по формуле: $\lg V_{\text{мин}} = 2,94 - 0,75P$, а начальная температура образования мартенсита M_s рассчитывается по формуле: $M_s = 561 - 474C - 33Mn - 17Cr - 17Ni - 21Mo$, где C, Mn, Cr, Ni, Mo соответствуют содержанию этих элементов в стальной полосе в вес. %. Предпочтительно, чтобы температура конца прокатки составляла 860-890 $^{\circ}\text{C}$; прокатную стальную полосу могут быстро охлаждать при помощи водного охлаждения со скоростью 18-50 $^{\circ}\text{C}/\text{с}$ до температуры 235-280 $^{\circ}\text{C}$.

Автор изобретения обнаружил, что при определенном уровне содержания остаточного аустенита в структуре износостойкой стальной полосы (например $\geq 5\%$) стальная полоса может проявлять заметный эффект самозакаливания (ТРИП), что существенно улучшает твердость и износостойкость ее поверхности. ТРИП расшифровывается как "пластичность, наведенная превращением", а ТРИП-эффект

(эффект самозакаливания) означает, что когда стальную полосу подвергают штамповке или ударной нагрузке, остаточный аустенит в составе стали в процессе фазового превращения может переходить в мартенсит, в результате чего деформированная часть быстро отвердевает, сопротивляясь дальнейшей деформации, и в то же время деформированная часть переходит в соседнее положение, что дает очень большое удлинение, т.е. высокую пластичность. В случае износостойкой стальной полосы, когда ее подвергают ударной нагрузке или деформации трением о другие материалы, остаточный аустенит в составе деформированной части превращается в мартенсит, поглощая энергию от удара или деформации трением, что снижает потери при истирании и улучшает износостойкость стали. Структура обычной износостойкой стальной полосы, в основном, представляет собой мартенсит или бейнит с небольшим количеством остаточного аустенита, при этом из-за малого содержания остаточного аустенита эффект самозакаливания может не возникать, как например, в износостойкой стальной полосе Hardox 400 производства шведской компании SSAB.

В настоящем изобретении используется необходимое содержание углерода, недорогие легирующие элементы Si и Mn, а также небольшое количество дорогостоящих легирующих элементов Cr, Ni и Mo, без использования Cu, Nb, V, B и пр., что существенно снижает стоимость легирующих элементов стальной полосы и дает значительное преимущество в контексте стоимости сплава. Что касается прокатки, проводить контролируемую прокатку в зоне отсутствия рекристаллизации необязательно, что снижает нагрузку на прокатный стан; нужно лишь при помощи водного охлаждения быстро охладить прокатную стальную полосу со скоростью $V_{\text{мин}}$ около 50°C/с до температуры мартенсита в диапазоне 145-185°C, а затем охладить сталь воздухом до комнатной температуры. Стальная полоса толщиной 6-25 мм структурно состоит из мартенсита и остаточного аустенита (5-10%) и имеет твердость $\geq \text{HB420}$, предел текучести ≥ 1000 МПа, удлинение $\geq 18\%$, $A_{kv} \geq 27$ Дж при -40°C, а также хорошо гнется в охлажденном состоянии, в частности, проявляет выдающийся эффект самозакаливания при эксплуатации, существенно улучшая поверхностную твердость и износостойкость, что отвечает большому спросу и высоким требованиям к износостойкой стальной полосе в соответствующих отраслях промышленности.

Краткое описание чертежей

На Фиг. 1 схематично показана диаграмма процесса получения итоговой структуры мартенсита и остаточного аустенита, получаемой путем быстрого охлаждения на линии и охлаждения воздухом согласно настоящему изобретению, при этом:

Temp обозначает температуру;

R.T обозначает комнатную температуру;

Bs обозначает начальную температуру бейнитного превращения;

Bf обозначает конечную температуру бейнитного превращения;

Ms обозначает начальную температуру мартенситного превращения;

B-UTC обозначает сверхбыстрое охлаждение.

На Фиг. 2 приведена фотография типичной металлографической структуры сверхпрочной стальной полосы толщиной 15 мм из варианта 3 осуществления настоящего изобретения.

На Фиг. 3 схематично показаны результаты сравнения характера изменения твердости в настоящем изобретении и в традиционной стали при ее поставке и эксплуатации.

Лучший вариант осуществления изобретения

Далее настоящее изобретение подробно описывается на примере конкретных вариантов его осуществления.

В настоящем изобретении, если явно не указано иное, содержание всегда указывается в вес. %.

Для решения задачи создания высокопрочной износостойкой стальной полосы с твердостью по Бринеллю \geq НВ 420, толщиной, в частности, 6-25 мм в настоящем изобретении выбирают базовые химические составляющие и контролируют их содержание в стали в соответствии с приведенным ниже описанием, с указанием причин того или иного выбора.

Углерод: углерод является ключевым элементом, обеспечивающим прочность стальной полосы. Для получения стальной полосы, состоящей, в основном, из мартенсита и остаточного аустенита, углерод представляет собой наиболее важный элемент, который может существенно улучшить способность стальной полосы к упрочнению. Благодаря высокой растворимости углерода в аустените, он может поддерживать высокий уровень стабильности аустенита и более низкое значение мартенситной точки M_s стали, что способствует получению нужного количества остаточного аустенита. В то же время, при увеличении содержания углерода может расти прочность и твердость стали, и снижаться ее пластичность, поэтому если для стальной полосы нужна высокая прочность и твердость, а также доля остаточного аустенита около 5-10%, то содержание углерода в стали не должно быть слишком низким. При комплексном рассмотрении вышеупомянутых факторов для получения твердости НВ 420 в настоящем изобретении подходящим оказывается содержание углерода в диапазоне 0,205-0,25 вес. %. Предпочтительно, чтобы содержание углерода составляло 0,205-0,245 вес. %.

Кремний: добавление кремния в сталь может улучшать ее чистоту и окалиностойкость. Кремний в составе стали способствует упрочнению твердого раствора, также в связи с высокой растворимостью кремния в аустените увеличение содержания кремния способствует увеличению прочности и твердости стали и улучшению стабильности аустенита, в частности, при отпуске стальной полосы после ее прямой закалки на линии и нагрева на линии до температуры в бейнитном диапазоне кремний может способствовать выделению карбидов в мартенсите и диспергированию углерода в остаточном аустените, в результате чего содержание углерода в остаточном аустените увеличивается и аустенит стабилизируется без превращений до достижения комнатной температуры, при этом стальная полоса при комнатной температуре получает смешанную структуру из отпущенного мартенсита и остаточного аустенита, что дает эффект самозакаливании при эксплуатации, улучшая износостойкость стали. Однако чрезмерное содержание кремния может приводить к снижению ударной вязкости стали, также при нагреве подобной стальной полосы ее окисная пленка становится крайне вязкой, что затрудняет удаление этой пленки после выхода стальной полосы из печи, в результате чего на поверхности прокатной стальной полосы остается большое количество пленки красной окиси, т.е. ухудшается качество поверхности; кроме того, чрезмерное содержание кремния также может негативно влиять на свариваемость стальной полосы. Учитывая все вышесказанное, в настоящем изобретении содержание кремния выбирается в пределах 0,20-1,00 вес. %. Предпочтительно, чтобы содержание кремния составляло 0,20-0,99 вес. %.

Марганец: марганец используется для стабилизации структур аустенита, при этом по своей стабилизирующей способности он уступает лишь такому легирующему элементу, как никель. Марганец является недорогим элементом, позволяющим стабилизировать структуры аустенита и упрочнять сталь легированием. В то же время, марганец может улучшать способность стали к закалке и снижать критическую скорость

охлаждения для образования мартенсита. Однако марганец имеет высокую склонность к сегрегации, поэтому его содержание не должно быть слишком высоким, как правило, оно не должно превышать 2,0% для микролегированной стали с низким содержанием углерода. Количество добавляемого марганца в основном зависит от требуемого уровня прочности и твердости стали. В настоящем изобретении содержание марганца регулируется в пределах 1,0-1,5%. Кроме того, марганец вместе с алюминием в составе стали способствует раскислению. Предпочтительно, чтобы содержание марганца составляло 1,11-1,45 вес. %.

Сера и фосфор: в составе стали сера, марганец и прочие элементы образуют пластичное включение - сульфид марганца, который особенно негативно влияет на поперечную деформируемость и ударную вязкость стали, поэтому содержание серы должно быть минимально возможным. Фосфор в составе стали также является вредным элементом и заметно ухудшает деформируемость и ударную вязкость стальной полосы. В настоящем изобретении сера и фосфор являются неустраняемыми включениями, содержание которых должно быть сведено до минимума. Учитывая фактические условия производства стали, в настоящем изобретении требуется содержание фосфора $P \leq 0,015$ вес. %, серы $S \leq 0,010$ вес. %. Предпочтительно, чтобы содержание фосфора P было $\leq 0,009$ вес. %, а содержание серы S было $\leq 0,004$ вес. %.

Алюминий: в настоящем изобретении алюминий выступает в качестве сильного раскислителя. Чтобы содержание кислорода в стали было как можно меньше, содержание алюминия следует контролировать в пределах 0,02-0,04 вес. %. После раскисления оставшийся алюминий вместе с содержащимся в стали азотом образует включения AlN , что может улучшить прочность стали и во время тепловой обработки уменьшить размер аустенитных зерен. Предпочтительно, чтобы содержание алюминия составляло 0,021-0,039 вес. %.

Титан: титан является элементом с интенсивным карбидообразованием. Добавление небольшого количества титана в сталь позволяет стабилизировать азот, а образуемый TiN может также образовывать аустенитные зерна в прутках в процессе нагрева, без чрезмерного укрупнения, с уменьшением размера исходных аустенитных зерен. В стали титан может вместе с углеродом и серой образовывать, соответственно, TiC , TiS , $Ti_4C_2S_2$ и другие подобные соединения, которые существуют в виде включений и частиц вторичных фаз. Использование микропримесей титана является традиционным процессом для большинства видов высокопрочной низкоуглеродистой стали. В настоящем изобретении содержание титана регулируется в пределах 0,01-0,03 вес. %. Предпочтительно, чтобы содержание титана находилось в диапазоне 0,013-0,022 вес. %.

Хром: хром способствует увеличению способности стали к упрочнению (закалке) и устойчивости стали против отпуска. Хром демонстрирует хорошую растворимость в аустените и может его стабилизировать. После закаливания большая часть хрома растворяется в мартенсите, а затем в процессе отпуска выделяет такие карбиды, как $Cr_{23}C_7$, Cr_7C_3 , что улучшает прочность и твердость стали. Для поддержания уровня прочности стали можно частично заменять хромом марганец, ослабляя присущую ему тенденцию к сегрегации. Соответственно, в настоящем изобретении хром может добавляться в количестве не более 0,70 вес. %. Предпочтительно, чтобы содержание хрома составляло 0,35-0,65 вес. %.

Никель: никель используется для стабилизации аустенита и не оказывает заметного влияния на прочность. Добавление никеля в сталь, особенно в закаленную и отпущенную сталь, может заметно повышать ее ударную вязкость, в особенности

низкотемпературную ударную вязкость, однако никель является дорогостоящим легирующим элементом, поэтому в настоящем изобретении его содержание может составлять не более 0,5 вес. %. Предпочтительно, чтобы содержание никеля составляло 0,16-0,40 вес. %.

5 Молибден: молибден может существенно уменьшать размер зерен и улучшать прочность и ударную вязкость стали. Он снижает отпускную хрупкость стали при выделении высокодисперсных карбидов во время отпуска, что позволяет существенно усиливать ее матрицу. Поскольку молибден является стратегическим легирующим элементом и имеет очень высокую стоимость, в настоящем изобретении количество добавляемого молибдена составляет не более 0,30 вес. %. Предпочтительно, чтобы
10 содержание молибдена находилось в пределах 0,18-0,24 вес. %.

Кальций: добавление кальция в сталь в основном используется для изменения формы сульфидов, чтобы тем самым улучшить свойства стали в поперечном направлении.

Содержание кальция $\leq 0,005$ вес. %. Предпочтительно, чтобы содержание кальция
15 составляло 0,001-0,003 вес. %.

Азот: сталь в настоящем изобретении не содержит таких микролегирующих элементов, как ниобий Nb и ванадий V, и формы упрочнения представляют собой упрочнение со сменой фазы и карбидное дисперсионное твердение при отпуске. Азот в количестве ≤ 60 ppm может стабилизировать титан в количестве 0,01-0,03 вес. % с
20 образованием TiN, что предотвращает чрезмерное укрупнение аустенитных зерен при нагреве стальной заготовки. В настоящем изобретении содержание азота $\leq 0,006$ вес. %. Предпочтительно, чтобы содержание азота составляло 0,0033-0,004 вес. %.

В настоящем изобретении добавление таких элементов, как углерод и никель, которые способны улучшать стабильность аустенита, может увеличивать содержание
25 остаточного аустенита в закаленной стали, что способствует проявлению эффекта самозакаливанию в стали. Кроме того, процесс контролирования итоговой температуры охлаждения и отсутствие отпуска также может повышать содержание остаточного аустенита.

Следующие процессы оказывают влияние на продукты настоящего изобретения:
30 вакуумная дегазация: обеспечивают содержание в расплавленной стали базовых компонент, удаляются такие вредные газы, как кислород и водород, добавляют необходимые легирующие элементы, такие как марганец и титан, и обеспечивают корректировку их содержания;

непрерывное литье или литье под давлением: обеспечивают однородность внутренних
35 компонентов заготовки и хорошее качество ее поверхности, при этом статические бруски, образуемые при литье под давлением, необходимо скручивать в прутки;

нагрев и прокатка: нагревают полученный непрерывным литьем сляб или полученный литьем под давлением прутки при температуре 1150-1250°C,

чтобы получить равномерную структуру аустенита, а также добиться частичного
40 растворения соединений таких легирующих элементов, как титан и хром. Подвергают сляб или прутки однопроходной или многопроходной (более трех проходов) прокатке в температурном диапазоне рекристаллизации аустенита для получения стальной полосы, при этом суммарный коэффициент обжатия составляет не менее 70%, а температура конца прокатки не меньше 860°C (предпочтительно, 860-890°C);

45 быстрое охлаждение: получают коэффициент затвердевания R по формуле (i), рассчитывают по формуле (ii) критическую скорость охлаждения V_{\min} для получения мартенсита, затем по формуле (iii) получают начальную температуру образования мартенсита M_s . При помощи водного охлаждения быстро охлаждают прокатную

стальную полосу со скоростью $V_{\text{мин}}$ около $50^{\circ}\text{C}/\text{с}$ (предпочтительно, $16\text{-}50^{\circ}\text{C}/\text{с}$) до температуры M_s в диапазоне $145\text{-}185^{\circ}\text{C}$, после чего охлаждают сталь воздухом до комнатной температуры. В процессе быстрого охлаждения большая часть легирующих элементов растворяется в мартенсите, и, благодаря контролю над итоговой температурой охлаждения, в структуре остается определенное количество остаточного аустенита, например, 5-10%. Наличие остаточного аустенита обеспечивает проявление эффекта самозакаливании в стальной полосе при эксплуатации.

В настоящем изобретении благодаря выбору компонентного состава, использования контролируемой прокатки, быстрого охлаждения и регулирования итоговой температуры охлаждения можно добиться уменьшения размера зерен, получения фазового превращения и дисперсионного твердения стальной полосы. На Фиг. 1 схематично показан контролируемый процесс получения структуры стальной полосы. В итоговой структуре стальной полосы имеется мартенсит и остаточный аустенит, например, см. Фиг. 2, на которой показан типичный пример структуры стальной полосы 15 мм толщиной. Стальная полоса толщиной 6-25 мм имеет твердость $\geq \text{HВ } 420$, предел текучести $\geq 1000 \text{ МПа}$, удлинение $\geq 18\%$, $A_{kv} \geq 27 \text{ Дж}$ при -40°C , а также хорошо гнется в охлажденном состоянии, в частности проявляет выдающийся эффект самозакаливании при эксплуатации, что существенно улучшает поверхностную прочность, твердость и износостойкость стали, удовлетворяя большому спросу и высоким требованиям к износостойкой стальной полосе в соответствующих отраслях промышленности. На Фиг. 3 схематично изображен эффект увеличения поверхностной твердости стальной полосы при эксплуатации.

Высокопрочная износостойкая стальная полоса, изготовленная в соответствии с вышеуказанным компонентным составом и способом контроля процесса, используется для производства компонентов в различных отраслях промышленности. Поскольку стальная полоса обладает выдающимся эффектом самозакаливании, при поставке она имеет низкую твердость, что облегчает ее обработку потребителями, а при эксплуатации твердость может существенно улучшаться, что заметно повышает износостойкость стали.

Варианты осуществления изобретения.

Далее настоящее изобретение подробно описывается на примере конкретных вариантов его осуществления. Представленные варианты осуществления описывают лишь оптимальные виды исполнения настоящего изобретения и не ограничивают его объема. В таблице 1 указаны компоненты состава стали, углеродные эквиваленты и минимальная скорость охлаждения для стальной полосы согласно вариантам осуществления, в таблице 2 приведены параметры процесса производства полосы, а в таблице 3 указаны свойства готовой стальной полосы, получаемой в вариантах осуществления изобретения.

Вариант 1.

После выплавки расплавленной стали согласно соотношениям из таблицы 1 и вакуумной дегазации выполняют непрерывное литье или литье под давлением, в результате чего получают сляб толщиной 80 мм. Сляб нагревают при температуре 1200°C , подвергают многопроходной прокатке в температурном диапазоне рекристаллизации аустенита до получения стальной полосы толщиной 6 мм, при этом суммарный коэффициент обжатия составляет 94%, а температура конца прокатки равняется 890°C ; затем охлаждают полосу до температуры 250°C со скоростью $50^{\circ}\text{C}/\text{с}$, после чего охлаждают стальную полосу воздухом до комнатной температуры.

Схемы процессов в вариантах 2-6 аналогичны варианту 1, подробное описание

компонентов стали и параметров процесса приведено в таблицах 1 и 2. Свойства готовой стальной полосы из вариантов осуществления указаны в таблице 3.

Компоненты состава стали, C_{eq} и критическая скорость охлаждения $V_{мин}$ для получения мартенсита согласно вариантам 1-6

Таблица 1

Компоненты, вес.% / вариант	1	2	3	4	5	6
C	0,205	0,214	0,228	0,200	0,232	0,245
Si	0,35	0,45	0,20	0,99	0,25	0,30
Mn	1,35	1,45	1,11	1,38	1,20	1,19
P	0,007	0,008	0,007	0,007	0,008	0,008
S	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
Al	0,025	0,021	0,039	0,026	0,036	0,029
Ni	0,20	0,16	0,23	0,20	0,38	0,40
Cr	0,45	0,35	0,55	0,47	0,60	0,65
Mo	0,18	0,22	0,21	0,20	0,19	0,24
Ti	0,015	0,022	0,015	0,018	0,014	0,013
Ca	—	—	—	—	0,002	0,002
N	0,0038	0,0040	0,0035	0,0036	0,0033	0,0039
C_{eq} , вес.%*	0,57	0,58	0,58	0,58	0,62	0,64
$V_{мин}$, °C/с	6	5	7	5	5	3

$$* C_{eq} = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/14$$

Параметры способа производства согласно вариантам 1-6

Таблица 2

Параметр / вариант	1	2	3	4	5	6
Температура нагрева, °C	1150	1150	1250	1150	1200	1150
Температура конца прокатки, °C	890	870	860	860	860	860
Коэффициент обжатия, %	94	88	80	80	75	70
Скорость охлаждения, °C/с	50	36	25	22	22	18
Итоговая температура охлаждения, °C	250	255	280	270	255	235
Толщина стальной полосы, мм	6	10	15	15	20	25

Проверка 1: Механические свойства стальной полосы.

В таблице 3 показаны результаты измерений механических свойств стальной полосы, в том числе предела текучести, предела прочности, удлинения и ударопрочности при -40°C, в соответствии с GB/T228-2002 (металлические материалы - испытание на растяжение при комнатной температуре) и GB 2106-1980 (металлические материалы - ударные испытания по Шар пи на образцах с V-образным надрезом).

Проверка 2: Твердость.

В таблице 3 показаны результаты измерения твердости по Бринеллю в соответствии с испытанием GB/T 231.1-2009 для вариантов осуществления 1-6 настоящего изобретения.

Механические свойства стальной полосы

Таблица 3

Параметр / свойство	1	2	3	4	5	6
Твердость, НВ	420	425	430	440	455	460
Предел текучести, МПа	1035	1045	1055	1065	1110	1150
Предел прочности, МПа	1345	1360	1385	1410	1455	1480
Удлинение A_{50} , %	19,3	19	20	20	19	18,5
-40°C A_{kv} Сила удара, Дж	31	42	55	63	58	61
Поперечный изгиб в охлажденном состоянии $D=2a$, 180°	Тест пройден	Тест пройден	Тест пройден	Тест пройден	Тест пройден	Тест пройден
Структуры	M + A _R	M + A _R	M + A _R	M + A _R	M + A _R	M + A _R

M: мартенсит

A_R: остаточный аустенит, 5-10%/

Проверка 3:

В таблице 3 приведены результаты измерения металлографических структур стали из вариантов осуществления настоящего изобретения при помощи оптического микроскопа. Металлографическая структура стальной полосы во всех вариантах осуществления представляет собой мартенсит и 5-10% остаточного аустенита.

На Фиг. 2 изображена фотография типичной металлографической структуры сверхпрочной стальной полосы толщиной 15 мм из варианта 3 осуществления настоящего изобретения. В других вариантах осуществления изобретения получают аналогичные металлографические структуры.

Проверка 4: Поперечный изгиб в охлажденном состоянии.

Выполняют тест на поперечный изгиб в охлажденном состоянии стальной полосы из вариантов осуществления 1-6 в соответствии с GB/T 232-2010 (металлические материалы - испытание на изгиб), $d=2a$, 180°; результаты приведены в таблице 3.

Проверка 5: Проверка сварочных характеристик.

В таблице 4 приведены результаты оценки сварочных характеристик варианта 6 осуществления настоящего изобретения, которая проводилась в соответствии с GB 4675.1-84 (испытание на трещиностойкость, наклонный Y-образный стык). Из таблицы 4 видно, что стальная полоса из варианта 6 не образует трещин при сварке при предварительном нагреве до 75°C, что указывает на отличные сварочные характеристики стальной полосы из настоящего изобретения.

Результаты испытания стали согласно варианту 6

Таблица 4

№	Скорость распространения поверхностных трещин, %	Скорость распространения трещин в корне шва, %	Скорость распространения трещин в сечении, %	Температура предварительного нагрева, °C	Комнатная температура, °C	Относительная влажность, %
1	0	0	0	75	30	60
2	0	0	0			
3	0	0	0			
4	0	0	0			
5	0	0	0			

В других вариантах осуществления получают те же результаты, иными словами, скорость распространения поверхностных трещин (%), скорость распространения трещин в корне шва (%) и скорость распространения трещин в сечении (%) все равны 0.

Проверка 6: Испытание на износостойкость.

Испытание на износостойкость проводили в машине для испытаний на абразивное истирание MG2000. На фрикционном диске размещали цилиндрический образец диаметром 5,0 мм и длиной 20 мм, и начинали круговое вращение. На фрикционном диске приклеена шлифовальная бумага 10#, нагрузка давлением составляет 30 Н, образец проверяли на потери от истирания. Образец имел относительную скорость 0,8 м/с, длина участка трения составляла 200 мм, испытание проводилось при температуре $T=25^{\circ}\text{C}$. Для взвешивания использовали фотоэлектрические аналитические весы TG328A, уменьшение веса образца после испытания указывает на потери от истирания.

Проводили сравнительные испытания износостойкости варианта 2 осуществления настоящего изобретения и износостойкой стали HARDOX 400 производства шведской компании SSAB. Поскольку в варианте 2 и сравнительном материале твердость различна, вариант 2 брали за эталон и относительно него пересчитывали твердость и потери на износ износостойкой стальной полосы HARDOX 400 (с твердостью HB 405), указывая абсолютные потери на износ, различие в твердости и различие в потерях на износ; эти значения приведены в таблице 5. Из таблицы 5 видно, что, в сравнении со стальной полосой производства шведской компании SSAB, сверхпрочная износостойкая стальная полоса из настоящего изобретения отличается существенно улучшенной износостойкостью (ок. 30%).

В других вариантах осуществления изобретения износостойкость стальной полосы также оказывается лучше, чем у стальной полосы HARDOX 400 (твердость которой равна HB 400) производства шведской компании SSAB.

**Результаты сравнения износостойкости варианта 2
и износостойкой стали HARDOX 400**

Таблица 5

Сорт стали (твердость)	Температура испытания, °C	Условия испытания на износ	Потери от истирания, мг	Различие в твердости, %	Различия в потерях от истирания, %
Вариант 2 (HB425)	Комнатная температура 25	Шлифовальная бумага 100#, нагрузка 30 Н, скорость вращения 0,8 м/с, длина участка трения 200 м	24	0	0
HARDOX 400 (HB405)			34	-5	+42

Из описанных выше вариантов осуществления изобретения видно, что благодаря использованию вышеуказанного надлежащего компонентного состава и параметров процесса можно получить отпущенную стальную полосу толщиной 6-25 мм, которая имеет твердость \geq HB 420, предел текучести \geq 1000 МПа, удлинение $A_{50} \geq 18\%$, $A_{KV} \geq 27$ Дж при -40°C , а также хорошо гнется в охлажденном состоянии, при этом структурные составляющие стали представляют собой мартенсит и остаточный аустенит (5-10%).

Стальная полоса имеет хорошие сварочные характеристики и высокую износостойкость, примерно на 30% выше, чем у импортной износостойкой стальной полосы с твердостью HB 400. В частности, при поставке стальная полоса имеет низкую твердость, что облегчает ее обработку потребителями, тогда как при эксплуатации стали, благодаря выдающемуся эффекту самозакаливанию, ее поверхностная прочность, твердость и износостойкость могут существенно улучшаться, что заметно повышает износостойкость стали, удовлетворяя большому спросу и высоким требованиям к износостойкой стальной полосе в соответствующих отраслях промышленности.

Формула изобретения

1. Износостойкая стальная полоса с твердостью по Бринеллю \geq HB 420, имеющая толщину 6-25 мм и следующий химический состав, вес. %: C 0,205-0,25, Si 0,20-1,00, Mn 1,0-1,5, Al 0,02-0,04, Ti 0,01-0,03, N \leq 0,006, Ca \leq 0,005, более одного элемента из следующих: Cr \leq 0,70, Ni \leq 0,50, Mo \leq 0,30, неизбежные примеси P \leq 0,015, S \leq 0,010, остальное - Fe.

2. Стальная полоса по п.1, отличающаяся тем, что ее углеродный эквивалент C_{eq} составляет 0,57-0,64.

3. Стальная полоса по п.1 или 2, отличающаяся тем, что содержание C составляет 0,205-0,245 вес. %.

4. Стальная полоса по п.1, отличающаяся тем, что содержание Si составляет 0,20-0,99 вес. %.

5. Стальная полоса по п.1, отличающаяся тем, что содержание Mn составляет 1,11-1,45 вес. %.

6. Стальная полоса по п.1, отличающаяся тем, что содержание P \leq 0,009 вес. %.

7. Стальная полоса по п.1, отличающаяся тем, что содержание S \leq 0,004 вес. %.

8. Стальная полоса по п.1, отличающаяся тем, что содержание Al составляет 0,021-0,039 вес.%.

9. Стальная полоса по п.1, отличающаяся тем, что содержание Ti составляет 0,013-0,022 вес.%.

5 10. Стальная полоса по п.1, отличающаяся тем, что содержание N составляет 0,0033-0,004 вес.%.

11. Стальная полоса по п.1, отличающаяся тем, что содержание Ca составляет 0,001-0,003 вес.%.

10 12. Стальная полоса п.1, отличающаяся тем, что содержание Cr составляет 0,35-0,65 вес.%.

13. Стальная полоса по п.1, отличающаяся тем, что содержание Ni составляет 0,16-0,40 вес. %.

14. Стальная полоса по п.1, отличающаяся тем, что содержание Mo составляет 0,18-0,24 вес. %.

15 15. Стальная полоса по п.1, отличающаяся тем, что ее структурные составляющие представляют собой отпущенный мартенсит и 5-10% остаточного аустенита.

16. Способ производства износостойкой стальной полосы по п.1, включающий вакуумную дегазацию стали, непрерывное литье расплавленной стали с получением сляба, нагрев сляба при температуре 1150-1250°C, однопроходную или многопроходную прокатку в более чем три прохода в зоне рекристаллизации аустенита, при этом суммарный коэффициент обжата составляет $\geq 70\%$, а температура конца прокатки $\geq 860^\circ\text{C}$, водное охлаждение прокатной стальной полосы с минимальной скоростью для получения мартенсита $V_{\text{мин}}$ около $50^\circ\text{C}/\text{с}$ до температуры мартенсита M_s в диапазоне $145-185^\circ\text{C}$, последующее охлаждение полосы воздухом до комнатной температуры, при этом коэффициент затвердевания R рассчитывают по формуле

$$R = 2,7C + 0,4Si + Mn + 0,45Ni + 0,8Cr + 0,45Cu + 2Mo,$$

25 где C, Si, Mn, Ni, Cr, Cu, Mo соответствуют содержанию этих элементов в стальной полосе в вес.%,

минимальную скорость охлаждения для получения мартенсита $V_{\text{мин}}$ рассчитывают по формуле

$$\lg V_{\text{мин}} = 2,94 - 0,75R,$$

а начальную температуру образования мартенсита M_s рассчитывают по формуле $M_s = 561 - 474C - 33Mn - 17Cr - 17Ni - 21Mo$,

35 где C, Mn, Cr, Ni, Mo соответствуют содержанию этих элементов в стальной полосе в вес.%.

17. Способ по п.16, отличающийся тем, что температура конца прокатки составляет $860-890^\circ\text{C}$.

18. Способ по п.16 или 17, отличающийся тем, что прокатную стальную полосу быстро охлаждают при помощи водного охлаждения со скоростью $18-50^\circ\text{C}/\text{с}$ до температуры $235-280^\circ\text{C}$.

19. Способ производства износостойкой стальной полосы по п.1, включающий вакуумную дегазацию стали, литье под давлением расплавленной стали с получением прутка, нагрев прутка при температуре 1150-1250°C, однопроходную или многопроходную прокатку в более чем три прохода в зоне рекристаллизации аустенита, при этом суммарный коэффициент обжата составляет $\geq 70\%$, а температура конца прокатки $\geq 860^\circ\text{C}$, водное охлаждение прокатной стальной полосы с минимальной скоростью для получения мартенсита $V_{\text{мин}}$ около $50^\circ\text{C}/\text{с}$ до температуры мартенсита M_s в диапазоне $145-185^\circ\text{C}$, последующее охлаждение полосы воздухом до комнатной

температуры, при этом коэффициент затвердевания P рассчитывают по формуле

$$P=2,7C+0,4Si+Mn+0,45Ni+0,8Cr+0,45Cu+2Mo,$$

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

5 минимальную скорость охлаждения для получения мартенсита $V_{мин}$ рассчитывают по формуле

$$\lg V_{мин}=2,94-0,75P,$$

а начальную температуру образования мартенсита M_s рассчитывают по формуле

$$M_s=561-474C-33Mn-17Cr-17Ni-21Mo,$$

10 где C , Mn , Cr , Ni , Mo соответствуют содержанию этих элементов в стальной полосе в вес.%.

15

20

25

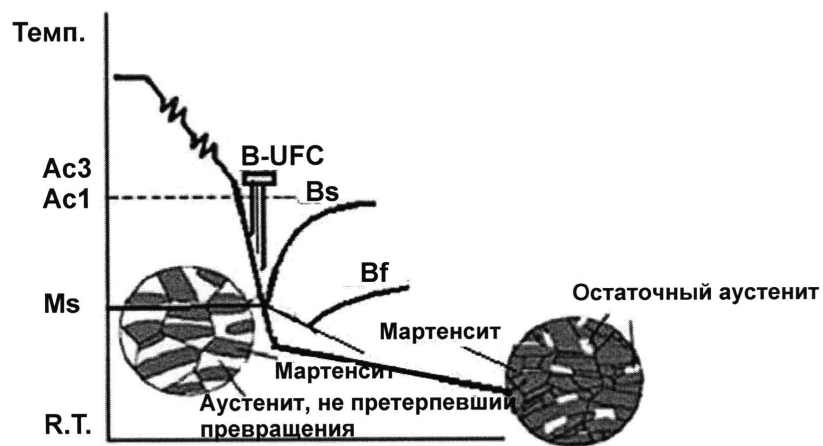
30

35

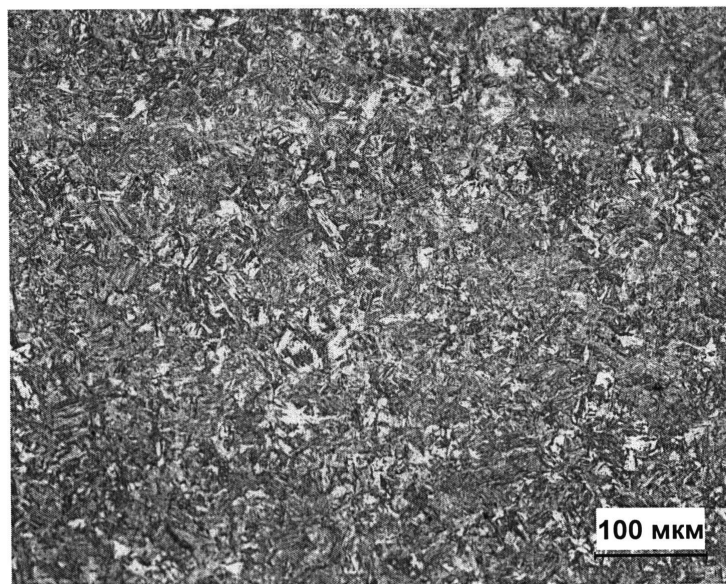
40

45

Износостойкая стальная полоса и способ ее производства

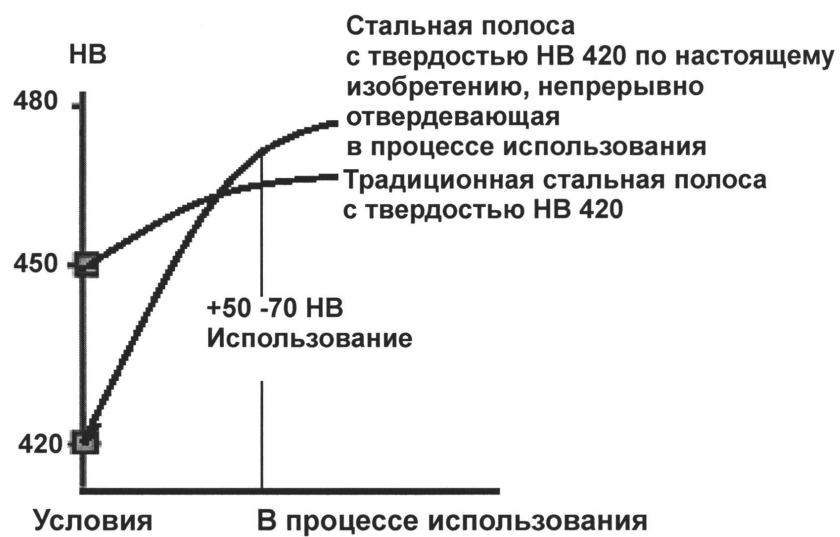


Фиг. 1



Фиг. 2

Износостойкая стальная полоса
и способ ее производства



Фиг. 3