



УКРАЇНА

(19) **UA**
(51) МПК(11) **126820**(13) **C2****B21B 1/085** (2006.01)**C21D 9/04** (2006.01)**E01B 5/02** (2006.01)**C22C 38/02** (2006.01)**C22C 38/04** (2006.01)**C22C 38/18** (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ
"УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(21) Номер заявки:	а 2020 03156	(72) Винахідник(и):	Аранкон Альварес Хосе (ES), Альварес Діес Давід (ES), Артімес Енсіна Хосе Мануель (ES), Гарсія Кабальєро Франсіска (ES), Поху Бенджамін (BE)
(22) Дата подання заявки:	27.11.2018	(73) Володілець (володільці):	АРСЕЛОРМІТТАЛ, 24-26, Boulevard d'Avranches, 1160 Luxembourg, Luxembourg (LU)
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності:	09.02.2023	(74) Представник:	Слободянюк Оксана Олександрівна, реєстр. №216
(31) Номер попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції:	PCT/IB2017/057424	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:	US 5879474 A, 09.03.1999 Sawley K. Development of bainitic rail steels with potential resistance to rolling contact fatigue / K. Sawley, J. Kristan // Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structures. - 17.10.2003. - Vol. 26. - P. 1019- 1029 JP 2002363698 A, 18.12.2002 US 2014130943 A1, 15.05.2014
(32) Дата подання попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції:	27.11.2017		
(33) Код держави-учасниці Паризької конвенції, до якої подано попередню заявку:	IB		
(41) Публікація відомостей про заявку:	10.08.2020, Бюл.№ 15		
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію:	08.02.2023, Бюл.№ 6		
(86) Номер та дата подання міжнародної заявки, поданої відповідно до Договору РСТ	PCT/IB2018/059349, 27.11.2018		

(54) СПОСІБ ВИГОТОВЛЕННЯ РЕЙКИ ТА ВІДПОВІДНА РЕЙКА**(57) Реферат:**

Спосіб виготовлення рейки, який включає: - розливання сталі для одержання напівфабрикату, при цьому зазначена сталь характеризується композицією, яка містить 0,20 %≤C≤0,60 %, 1,0 %≤Si≤2,0 %, 0,60 %≤Mn≤1,60 % і 0,5%≤Cr≤2,2 %, необов'язково 0,01 %≤Mo≤0,3 %, 0,01 %≤V≤0,30 %; причому решта являє собою Fe і домішки, - гарячу прокатку напівфабрикату для одержання гарячекатаного напівфабрикату, який має профіль рейки і має головку, при цьому кінцева температура прокатки $T_{\text{кп}}$ є більшою, ніж A_{r3} ; - охолодження головки до температури припинення охолодження $T_{\text{по}}$, знаходиться в межах діапазону між 200 °C і 520 °C, причому температура головки з плином часу знаходиться в межах діапазону між верхнім граничним значенням, які мають координати, визначені позиціями A1 (0 с, 780 °C), B1 (50 с, 600 °C) і C1 (110 с, 520 °C), і нижнім граничним значенням, які мають координати, визначені позиціями A2 (0 с, 675 °C), B2 (50 с, 510 °C) і C2 (110 с, 300 °C); - витримання головки в температурному діапазоні, укладеному в межах діапазону між 300 °C і 520 °C, протягом часу

UA 126820 C2

витримування $t_{\text{витримування}}$, який становить щонайменше 12 хв.; і - охолодження гарячекатаного напівфабрикату до кімнатної температури для одержання рейки.

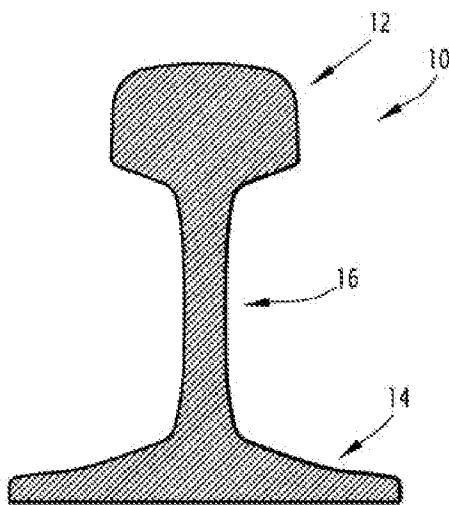


Fig. 1

Винахід стосується способу виробництва сталеві рейки, яка характеризується чудовими механічними властивостями і стійкістю до зношування і контактної втоми при коченні, а також відповідної сталеві рейки.

В останні роки для покращення залізничних перевезень були збільшені швидкості і завантаження поїздів, тому контактні напруження можуть перевищувати 2000 МПа. Ці більш напружені умови експлуатації вимагають використання нових рейок, які характеризуються більш високою стійкістю до зношування і контактної втоми при коченні, особливо для інтенсивного промислового залізничного сполучення.

Зношування і контактна втома при коченні (КВК) являють собою два важливі чинники, які можуть стимулювати виникнення уповільненого виходу з ладу залізничного полотна. У той час, як механізми зношування були повністю досліджені і є добре зрозумілими, і стосовно зношування на сьогоднішній день в залізничній системі вживаються заходи, втома КВК все ще є недостатньо зрозумілою для створення ефективних рішень, стосовних запобігання виникненню дефектів, спричинених втомою КВК, що може призводити до поступального погіршення якості рейки і передчасного проведення її технічного обслуговування.

Традиційний підхід до розробки нових рейкових сталей, спрямований на рішення проблем, зв'язаних із зношуванням і втомою КВК, полягав у збільшенні твердості і міцності сталі. У випадку звичайних перлітових марок для залізниць досягнення цього збільшення протягом останніх 40 років домагалися в результаті зменшення міжпластинкової відстані, в результаті додавання дорогих легуючих елементів або в результаті загартування головок. Проте, це збільшення стійкості до зношування в загальному випадку супроводжується зменшенням в'язкості. Як це демонструють вищезазначені проблемні питання, незважаючи на всі дослідження, які мали місце в цілях розробки нових мікроструктур, які мають покращені механічні властивості, марки перлітових сталей вже досягли своїх граничних значень стосовно експлуатаційних характеристик зношування і контактної втоми при коченні, що означає нездатність існуючих марок для залізниць впоратися з найбільш жорсткими умовами експлуатації.

В якості наступного покоління передових високоміцних сталей і кандидатів в матеріали для інтенсивно навантажених рейок і залізничних переїздів були розглянуті бейнітні сталі, які містять, наприклад, мікроструктуру нижнього бейніту, внаслідок наявності у них хорошої комбінації з твердості, міцності і в'язкості.

Бейнітні сталі, які містять мікроструктуру нижнього бейніту, забезпечують наявність хорошої стійкості до зношування, але не дозволяють домогтися досягнення достатньої стійкості до втоми КВК.

Зокрема спосіб виробництва високоміцної і стійкої до зношування і контактної втоми при коченні рейки розкривається в публікації WO 1996022396 A1. Рейку виробляють зі сталі, яка характеризується композицією, що містить від 0,05 % до 0,5 % C, від 1,00 до 3,00 % Si і/або Al, від 0,50 % до 2,50 % Mn і від 0,25 % до 2,50 % Cr. Рейку виробляють в результаті проведення повітряного охолодження сталі від кінцевої температури гарячої прокатки.

У публікації EP 1 873 262 розкривається спосіб виготовлення високоміцних напрямних рейок зі сталі, яка містить від 0,3 % до 0,4 % C, від 0,7 % до 0,9 % Si, від 0,6 % до 0,8 % Mn і від 2,2 % до 3,0 % Cr. Спосіб виготовлення включає повітряне охолодження сталі після формування бейнітної структури. Однак, в публікації EP 1 873 262 не надається інформація про будь-яку конкретну швидкість охолодження.

У публікаціях EP 0 612 852, US 2015218759 і US 201514702188 розкриваються способи виробництва бейнітної рейки в результаті проведення прискореного охолодження. Однак, ці рейки не демонструють наявності достатньої стійкості до контактної втоми при коченні.

Тому виробництво сталевих рейок залишається бажаним.

Одна мета цього винаходу полягає в пропозиції способу виготовлення високотехнологічної рейки, яка характеризується чудовими стійкістю до контактної втоми при коченні і стійкістю до зношування.

Особливо бажаним є виробництво сталеві рейки, у якій головка рейки характеризується границею міцності на розтяг, яка становить, щонайменше 1300 МПа, границею текучості на розтяг, яка становить, щонайменше 1000 МПа, повним відносним подовженням, яке становить, щонайменше, 13 % і твердістю, яка становить, щонайменше, 420 HB, а переважно, щонайменше, 430 HB, разом з чудовою стійкістю до контактної втоми при коченні і стійкістю до зношування.

Для цієї мети винахід відноситься до способу виготовлення рейки, яка має головку, при цьому спосіб включає наступні послідовні стадії:

- розливання сталі так, щоб одержати напівфабрикат, при цьому зазначена сталь характеризується хімічним складом, який містить, при вираженні у масових відсотках:

$0,20 \% \leq C \leq 0,60 \%$,

$1,0 \% \leq Si \leq 2,0 \%$,

5 $0,60 \% \leq Mn \leq 1,60 \%$,

$i 0,5 \% \leq Cr \leq 2,2 \%$

і необов'язково один або кілька елементів, які обирають з числа

$0,01 \% \leq Mo \leq 0,3 \%$,

$0,01 \% \leq V \leq 0,30 \%$,

10 причому решта являє собою Fe і немінучі домішки, які є результатом виплавки;

- гарячу прокатку напівфабрикату для одержання гарячекатаного напівфабрикату, який має профіль рейки і має головку, при цьому кінцева температура прокатки $T_{кп}$ є більшою, ніж Ar_3 ;

- охолодження головки гарячекатаного напівфабрикату від кінцевої температури прокатки $T_{кп}$ аж до температури припинення охолодження $T_{по}$, яка знаходиться в межах діапазону між

15 $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ і $520\text{ }^{\circ}\text{C}$, так, що температура головки гарячекатаного напівфабрикату з плином часу буде знаходитися в межах діапазону між верхнім граничним значенням і нижнім граничним значенням, причому верхнє граничне значення має координати за часом і температури, визначені позиціями A1 (0 с, $780\text{ }^{\circ}\text{C}$), B1 (50 с, $600\text{ }^{\circ}\text{C}$) і C1 (110 с, $520\text{ }^{\circ}\text{C}$), нижнє граничне значення має координати за часом і температури, визначені позиціями A2 (0 с, $675\text{ }^{\circ}\text{C}$), B2 (50 с,

20 $510\text{ }^{\circ}\text{C}$) і C2 (110 с, $300\text{ }^{\circ}\text{C}$);

- витримування головки гарячекатаного напівфабрикату в температурному діапазоні, укладеному в межах діапазону між $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ і $520\text{ }^{\circ}\text{C}$, протягом часу витримування $t_{\text{витримування}}$, який становить, щонайменше, 12 хв.; і

25 - охолодження гарячекатаного напівфабрикату до кімнатної температури для одержання рейки.

Спосіб виготовлення рейки може, крім того, включати один або кілька наступних ознак, взятих разом або відповідно у будь-якій технічно можливій комбінації:

- мікроструктура головки рейки складається, при вираженні у поверхневих часткових концентраціях, з:

30 - від 49 % до 67 % бейніту;

- від 14 % до 25 % залишкового аустеніту, при цьому залишковий аустеніт характеризується середнім рівнем вмісту вуглецю, укладеним в межах діапазону між 0,80 % і 1,44 %;

- від 13 % до 34 % відпущеного мартенситу;

35 - поверхнева часткова концентрація бейніту в мікроструктурі головки є більшою або рівною 56 %;

- поверхнева часткова концентрація залишкового аустеніту в мікроструктурі головки знаходиться в межах діапазону між 18 % і 23 %;

- поверхнева часткова концентрація відпущеного мартенситу в мікроструктурі головки знаходиться в межах діапазону між 14,5 % і 22,5 %;

40 - середній рівень вмісту вуглецю в залишковому аустеніті перевищує 1,3 %;

- температура припинення охолодження $T_{по}$ знаходиться в межах діапазону між $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ і $520\text{ }^{\circ}\text{C}$;

- температура припинення охолодження $T_{по}$ знаходиться в межах діапазону між $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ і $300\text{ }^{\circ}\text{C}$, і спосіб, крім того, включає після проведення стадії охолодження головки гарячекатаного напівфабрикату аж до температури припинення охолодження $T_{по}$ і до проведення стадії витримування головки в даному температурному діапазоні стадію нагрівання головки гарячекатаного напівфабрикату аж до температури, яка знаходиться в межах діапазону між $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ і $520\text{ }^{\circ}\text{C}$;

50 - стадію охолодження головки гарячекатаного напівфабрикату проводять з використанням водяних струменів;

- під час проведення стадії охолодження головки гарячекатаного напівфабрикату весь гарячекатаний напівфабрикат охолоджують так, що температура гарячекатаного напівфабрикату з плином часу буде знаходитися в межах діапазону між верхнім граничним значенням і нижнім граничним значенням;

55 - під час проведення стадії гарячої прокатки напівфабрикату напівфабрикат піддають гарячій прокатці від температури початку гарячої прокатки, яка перевищує $1080\text{ }^{\circ}\text{C}$, переважно перевищує $1180\text{ }^{\circ}\text{C}$;

- хімічний склад сталі містить, при цьому рівень вмісту виражений у масових відсотках: $0,30 \% \leq C \leq 0,60 \%$;

- хімічний склад сталі містить, при цьому рівень вмісту виражений у масових відсотках:
 $1,25 \% \leq Si \leq 1,6 \%$; і
- хімічний склад сталі містить, при цьому рівень вмісту виражений у масових відсотках:
 $1,09 \% \leq Mn \leq 1,5 \%$.

5 Винахід також відноситься до гарячекатаної сталевий деталі, яка характеризується хімічним складом, який містить, при вираженні у масових відсотках:

- $0,20 \% \leq C \leq 0,60 \%$,
- $1,0 \% \leq Si \leq 2,0 \%$,
- $0,60 \% \leq Mn \leq 1,60 \%$,

10 і $0,5 \% \leq Cr \leq 2,2 \%$

і необов'язково один або кілька елементів, які обирають з числа

$0,01 \% \leq Mo \leq 0,3 \%$,

$0,01 \% \leq V \leq 0,30 \%$,

причому решта являє собою Fe і неминучі домішки, які є результатом виплавки;

15 при цьому сталевий рейка включає головку, яка містить мікроструктуру, яка складається, при вираженні у поверхневих часткових концентраціях, з:

- від 49 % до 67 % бейніту,

- від 14 % до 25 % залишкового аустеніту, причому залишковий аустеніт характеризується середнім рівнем вмісту вуглецю, який знаходиться в межах діапазону між 0,80 % і 1,44 %, і

20 - від 13 % до 34 % відпущеного мартенситу.

Гарячекатана сталевий деталь може, крім того, включати одну або кілька наступних ознак, взятих разом або відповідно у будь-якій технічно можливій комбінації,

- поверхнева часткова концентрація бейніту в мікроструктурі головки рейки перевищує 56 %;

25 - поверхнева часткова концентрація залишкового аустеніту в мікроструктурі головки рейки знаходиться в межах діапазону між 18 % і 23 %;

- поверхнева часткова концентрація відпущеного мартенситу в мікроструктурі головки рейки знаходиться в межах діапазону між 14,5 % і 22,5 %;

- середній рівень вмісту вуглецю в залишковому аустеніті перевищує 1,3 %;

30 - хімічний склад сталі містить, при цьому рівень вмісту виражений у масових відсотках:
 $0,30 \% \leq C \leq 0,6 \%$;

- хімічний склад сталі містить, при цьому рівень вмісту виражений у масових відсотках:
 $1,25 \% \leq Si \leq 1,6 \%$; і

- хімічний склад сталі містить, при цьому рівень вмісту виражений у масових відсотках:
 $0,9 \% \leq Mn \leq 1,5 \%$;

35 - головка рейки характеризується твердістю, яка знаходиться в межах діапазону між 420 НВ і 470 НВ, яка переважно перевищує 450 НВ;

- головка рейки характеризується границею міцності на розтяг, яка знаходиться в межах діапазону між 1300 МПа і 1450 МПа;

40 - головка рейки характеризується границею текучості на розтяг, яка знаходиться в межах діапазону між 1000 МПа і 1150 МПа; і

- головка рейки характеризується повним відносним подовженням, яке знаходиться в межах діапазону між 13 % і 18 %.

Інші аспекти і переваги винаходу стануть очевидними після прочитання подальшого опису винаходу, представленого в порядку прикладу і зробленого при зверненні до доданих креслень, де:

45 - Фіг. 1 являє собою зображення виду у перерізі для рейки, і;

- Фіг. 2 являє собою графік, який демонструє верхнє граничне значення і нижнє граничне значення температури з плином часу під час проведення стадії охолодження головки;

50 - Фіг. 3 являє собою графік коефіцієнтів лінійного теплового розширення і коефіцієнта теплового розширення для трьох зразків в залежності від температури.

Один варіант здійснення рейки 10, відповідної винаходу, зображений на Фіг. 1.

Рейка 10 включає головку 12 і підшову 14, при цьому підшва 14 і головка 12 з'єднуються одна з одною з використанням шийки 16.

Відповідно до зображенням на Фіг. 1 шийка 16 має максимальну ширину, яка строго поступається максимальній ширині головки 12, а саме, поступається, щонайменше, на 50 % максимальній ширині головки 12.

Подібним чином, шийка має максимальну ширину, яка строго поступається максимальній ширині підшови, а саме, поступається, щонайменше, на 50 % максимальній ширині підшови.

Головка 12, підшва 14 і шийка 16 виготовляються у нерознімному виконанні.

Рейка 10, зокрема, головку 12 рейки 10, виготовляють зі сталі, яка характеризується хімічним складом, який містить, при вираженні у масових відсотках:

$0,20 \% \leq C \leq 0,60 \%$, а, кажучи більш конкретно, $0,30 \% \leq C \leq 0,60 \%$,

$1,0 \% \leq Si \leq 2,0 \%$, а переважно $1,25 \% \leq Si \leq 1,6 \%$,

5 $0,60 \% \leq Mn \leq 1,60 \%$, а переважно $1,09 \% \leq Mn \leq 1,5 \%$,

$0,5 \leq Cr \leq 2,2 \%$

і необов'язково один або кілька елементів, які обирають з числа

$0,01 \% \leq Mo \leq 0,3 \%$,

$0,01 \% \leq V \leq 0,30 \%$,

10 при цьому решта являє собою Fe і неминучі домішки, які є результатом виплавки.

В цьому сплаві вуглець є легуючим елементом, який має своїм основним ефектом контрольоване витримування і підстроювання бажаної мікроструктури і властивостей сталі. Вуглець стабілізує аустеніт і, таким чином, призводить до його збереження навіть при кімнатній температурі. На додаток до цього, вуглець уможливорює досягнення хорошої механічної

15 стійкості і бажаної твердості у поєднанні з хорошими тягучістю і стійкістю до ударних навантажень.

Рівень вмісту вуглецю, який становить менш, ніж $0,20 \%$ (мас.), призводить до формування недостатньо стабільного залишкового аустеніту, одержання недостатніх твердості і границі міцності на розрив і недостатньої стійкості до контактної втоми при коченні і зношування. При

20 рівнях вмісту вуглецю, який перевищує $0,60 \%$, тягучість і стійкість до ударних навантажень сталі погіршуються в результаті виникнення осьової ліквіації. Тому рівень вмісту вуглецю знаходиться в межах діапазону між $0,20 \%$ і $0,60 \%$ (мас.).

Рівень вмісту вуглецю переважно знаходиться в межах діапазону між $0,30 \%$ і $0,60 \%$, при вираженні у масових відсотках.

25 Рівень вмісту кремнію знаходиться в межах діапазону між $1,0 \%$ і $2,0 \%$ (мас.). Елемент Si,

який є елементом, який є нерозчинним у цементиті, запобігає або, щонайменше, уповільнює формування виділень карбиду, зокрема, під час формування бейніту, і уможливорює дифундування вуглецю у залишковий аустеніт, що, в такий спосіб, сприяє стабілізуванню залишкового аустеніту. Si, крім того, збільшує міцність сталі в результаті проходження твердо-

30 розчинного зміцнення. При менш, ніж $1,0 \%$ (мас.) кремнію ці ефекти не є достатньо яскраво вираженими. При рівні вмісту кремнію, який перевищує $2,0 \%$ (мас.), на стійкість до ударних навантажень може бути наданий негативний вплив внаслідок утворення великорозмірних частинок оксидів. Крім цього, рівень вмісту Si, який перевищує $2,0 \%$ (мас.), міг би призводити до одержання незадовільної якості поверхні сталі.

35 Переважно рівень вмісту Si знаходиться в межах діапазону між $1,25 \%$ і $1,6 \%$ (мас.).

Рівень вмісту марганцю знаходиться в межах діапазону між $0,60 \%$ і $1,60 \%$ (мас.), а переважно між $1,09 \%$ і $1,5 \%$. Mn відіграє важливу роль при контрольованому додержанні мікроструктури і стабілізуванні аустеніту. В якості елемента, який сприяє формуванню гамма-фази, Mn зменшує температуру перетворення аустеніту, покращує можливість збагачення за

40 вуглецем в результаті збільшення розчинності вуглецю в аустеніті і продовжує застосовний діапазон швидкостей охолодження, оскільки він уповільнює формування перліту. Mn, крім того, збільшує міцність матеріалу в результаті проходження твердо-розчинного зміцнення і подрібнює структуру. При менш, ніж $0,6 \%$ (мас.) ці ефекти є недостатньо яскраво вираженими. При рівнях вмісту, які перевищують $1,6 \%$, Mn сприяє формуванню надмірно великої часткової

45 концентрації мартенситу, що є шкідливим для тягучості продукції.

Рівень вмісту хрому знаходиться в межах діапазону між $0,5 \%$ і $2,2 \%$ (мас.). Елемент Cr є ефективним при стабілізуванні залишкового аустеніту, забезпечуючи наявність його попередньо визначеної кількості. Він також є придатним для використання при зміцненні сталі. Однак, Cr в основному додають в зв'язку з його ефектом стимулювання твердіння. Cr промотує зростання фаз, які зазнали низькотемпературного перетворення, і уможливорює одержання цільової мікроструктури у великому діапазоні швидкостей охолодження. При рівнях вмісту, які не перевищують $0,5 \%$, ці ефекти є недостатньо яскраво вираженими. При рівнях вмісту, які перевищують $2,2 \%$, Cr сприяє формуванню надмірно великої часткової концентрації мартенситу, що є шкідливим для тягучості продукції. Крім цього, при рівні вмісту, який

55 перевищує $2,2 \%$, додавання Cr стає невиправдано дорогим.

У разі присутності молібдену його рівень вмісту буде знаходитися в межах діапазону між $0,01 \%$ і $0,3 \%$ (мас.). У сталі винаходу Mo може бути присутнім у якості домішки при рівні вмісту, який в загальному випадку становить, щонайменше, $0,01 \%$, або може бути доданий в порядку цілеспрямованого додавання. У разі додавання Mo його рівень вмісту переважно становитиме, щонайменше, $0,10 \%$. У разі додавання Mo він покращує загартованість сталі і, крім того,

60

полегшує формування нижнього бейніту в результаті зменшення температури, при якій проявляється ця структура, при цьому нижній бейніт призводить в результаті до одержання хорошої стійкості до ударних навантажень для сталі. Однак, при рівні вмісту, який перевищує 0,3 % (мас.), Мо може впливати на ту саму стійкість до ударних навантажень. Крім цього, при

5

більш, ніж 0,3 %, додавання Мо стає невиправдано дорогим.
У разі присутності ванадію його рівень вмісту буде знаходитися в межах діапазону між 0,01 % і 0,30 %. Ванадій необов'язково додають у якості зміцнювального і подрібнювального елемента структури. У разі додавання V його рівень вмісту переважно становитиме, щонайменше, 0,10 %. При менш, ніж 0,10 % будь-якого значного впливу на механічні властивості не відзначається. При більш, ніж 0,30 % за умов виготовлення, відповідних винаходу, відзначається насичення впливу на механічні властивості. У разі не додавання V він в загальному випадку буде присутній в якості домішки при рівні вмісту, який становить, щонайменше, 0,01 %.

10

Решту композиції являють собою залізо і неминучі домішки. В цьому відношенні як залишкові елементи, які являють собою неминучі домішки, розглядаються нікель, фосфор, сірка, азот, кисень і водень. Тому їх рівні вмісту складають, щонайбільше, 0,05 % Ni, щонайбільше, 0,025 % P, щонайбільше, 0,020 % S, щонайбільше, 0,009 % N, щонайбільше, 0,003 % O і, щонайбільше, 0,0003 % H.

15

Рейка 10, зокрема, головка 12 рейки 10, містить мікроструктуру, яка складається, при вираженні у поверхневих часткових концентраціях, з:

20

- від 49 % до 67 % бейніту,
- від 14 % до 25 % залишкового аустеніту і
- від 13 % до 34 % відпущеного мартенситу.

Бейніт може включати гранулярний бейніт і рейковий безкарбідний бейніт. В рамках винаходу термін "безкарбідний бейніт" означатиме бейніт, який містить менше, ніж 100 карбідів у розрахунку на одиницю поверхні в 100 мкм².

25

Переважно поверхнева часткова концентрація бейніту в мікроструктурі головки 12 є більшою або рівною 56 %.

Залишковий аустеніт і відпущений мартенсит в загальному випадку присутні в якості складових частин M/A, розташованих в проміжку між рейками або пластинами бейніту.

30

У бейніті між рейками або пластинами бейніту також міститься і аустеніт.

Залишковий аустеніт характеризується середнім рівнем вмісту вуглецю, який знаходиться в межах діапазону між 0,83 % і 1,44 %, переважно перевищує 1,3 %.

Переважно поверхнева часткова концентрація залишкового аустеніту в мікроструктурі головки 12 знаходиться в межах діапазону між 18 % і 23 %.

35

Відпущений мартенсит міститься у бейніті між рейками або пластинами бейніту і в компоненті M/A.

Мартенсит є відпущеним мартенситом, а переважно самовідпущеним мартенситом. У загальному випадку відпущений мартенсит характеризується низьким рівнем вмісту вуглецю, тобто, середнім рівнем вмісту C, строго меншим, ніж середній рівень вмісту C в сталі.

40

Переважно поверхнева часткова концентрація відпущеного мартенситу в мікроструктурі головки 12 знаходиться в межах діапазону між 14,5 % і 22,5 %.

Головка 12 рейки 10 характеризується твердістю, яка становить, щонайменше, 420 HB, в загальному випадку знаходиться в межах діапазону між 430 HB і 470 HB, границею міцності на розтяг, яка становить, щонайменше 1300 МПа, в загальному випадку укладеною в межах діапазону між 1300 МПа і 1450 МПа, границею текучості на розтяг, яка становить, щонайменше 1000 МПа, в загальному випадку знаходиться в межах діапазону між 1000 МПа і 1150 МПа, і повним відносним подовженням, яке становить, щонайменше, 13 %, в загальному випадку укладене в межах діапазону між 13 % і 18 %.

45

Виготовлення рейки 10, відповідної винаходу, може бути проведено в результаті здійснення будь-якого придатного для використання способу.

Один переважний спосіб виробництва такої рейки включає стадію розливання сталі так, щоб одержати напівфабрикат, при цьому зазначена сталь характеризується вищезазначеним хімічним складом.

50

Спосіб, крім того, включає стадію гарячої прокатки напівфабрикату для одержання гарячекатаного напівфабрикату, який має профіль рейки 10 і включає головку 12, при цьому кінцева температура прокатки $T_{кп}$ є більшою, ніж Ar3.

55

Переважно під час проведення стадії гарячої прокатки напівфабрикату напівфабрикат піддають гарячій прокатці від температури початку гарячої прокатки, яка перевищує 1080 °C, переважно перевищує 1180 °C.

60

Наприклад, до проведення гарячої прокатки напівфабрикат піддають повторному нагріванню до температури в межах діапазону між 1150 °C і 1270 °C, а після цього гарячій прокатці.

Після завершення гарячої прокатки рейку 10 перепускають переважно через індукційну піч. Це уможливорює уникнення розпаду аустеніту.

Спосіб виготовлення рейки 10 після цього включає охолодження головки 12 гарячекатаного напівфабрикату від кінцевої температури прокатки $T_{\text{кп}}$ аж до температури припинення охолодження $T_{\text{по}}$, яка знаходиться в межах діапазону між 200 °C і 520 °C, так, що температура головки 12 гарячекатаного напівфабрикату з плином часу буде знаходитися в межах діапазону між верхнім граничним значенням і нижнім граничним значенням, згідно зображенню на Фіг. 2, при цьому верхнє граничне значення має координати за часом і температурою, визначені позиціями A1 (0 с, 780 °C), B1 (50 с, 600 °C) і C1 (110 с, 520 °C), нижнє граничне значення має координати за часом і температурою, визначені позиціями A2 (0 с, 675 °C), B2 (50 с, 510 °C) і C2 (110 с, 300 °C).

Температура припинення охолодження $T_{\text{по}}$ є температурою, при якій припиняють охолодження.

У першому варіанті здійснення температура припинення охолодження $T_{\text{по}}$ знаходиться в межах діапазону між 300 °C і 520 °C.

В цьому варіанті здійснення головка може досягати температури припинення охолодження $T_{\text{по}}$ до або після досягнення точки, яка знаходиться в межах діапазону між визначеними вище точками C1 і C2.

У другому варіанті здійснення температура припинення охолодження $T_{\text{по}}$ знаходиться в межах діапазону між 200 °C і 300 °C. В цьому варіанті здійснення під час проведення охолодження після досягнення точки, знаходиться в межах діапазону між точками C1 і C2, головку 12 додатково охолоджують до температури припинення охолодження $T_{\text{по}}$. Під час проведення охолодження до температури припинення охолодження $T_{\text{по}}$ має місце часткове перетворення аустеніту на бейніт і мартенсит.

У разі охолодження головки 12 гарячекатаного напівфабрикату так, що її температура з плином часу буде більшою, ніж верхнє граничне значення, будуть формуватися ферит і перліт, і при охолодженні будуть формуватися виділення карбідів тому бажана структура одержана не буде.

У разі охолодження головки 12 гарячекатаного напівфабрикату так, що її температура з плином часу буде меншою, ніж нижнє граничне значення, будуть одержані надмірно висока часткова концентрація мартенситу і недостатня часткова концентрація бейніту.

Говорячи більш конкретно, під час проведення цієї стадії охолодження головки 12 гарячекатаного напівфабрикату весь гарячекатаний напівфабрикат охолоджують так, що температура гарячекатаного напівфабрикату з плином часу буде знаходитися в межах діапазону між верхнім граничним значенням і нижнім граничним значенням.

Стадію охолодження головки 12 гарячекатаного напівфабрикату переважно проводять з використанням водяних струменів. Такі водяні струмені уможливають досягнення високих швидкостей охолодження і контрольованих температур виділення і рекуперації тепла.

Після проведення цієї стадії охолодження спосіб включає стадію витримування головки 12 гарячекатаного напівфабрикату в температурному діапазоні, укладеному в межах діапазону між 300 °C і 520 °C, протягом часу витримування $t_{\text{витримування}}$, який становить, щонайменше, 12 хв., при цьому час витримування $t_{\text{витримування}}$ у вигідному випадку знаходиться в межах діапазону 15-23 хв.

Переважно весь гарячекатаний напівфабрикат витримують в температурному діапазоні, укладеному в межах діапазону між 300 °C і 520 °C, протягом згаданого часу витримування $t_{\text{витримування}}$.

Під час проведення цієї стадії витримування перетворення аустеніту на бейніт завершується.

На доданок до цього, вуглець перерозподіляється з мартенситу в аустеніт, що, таким чином, призводить до стабілізування аустеніту і відпускання мартенситу.

Якщо час витримування $t_{\text{витримування}}$ знаходиться в температурному діапазоні в межах між 300 °C і 520 °C, становить менш, ніж 12 хв., буде формуватися недостатня часткова концентрація бейніту так, що під час проведення подальшого охолодження до кімнатної температури матиме місце надмірне істотне перетворення аустеніту на мартенсит.

Наприклад, головку 12 витримують при температурі витримування $T_{\text{витримування}}$, яка знаходиться в межах діапазону між 300 °C і 520 °C.

Якщо температура припинення охолодження, знаходиться в межах діапазону між 300 °С і 520 °С, стадію витримування головки 12 в температурному діапазоні, укладеному в межах діапазону між 300 °С і 520 °С, протягом часу витримування $t_{\text{витримування}}$ проводитимуть, наприклад, безпосередньо після проведення охолодження до температури припинення охолодження $T_{\text{по}}$. На додаток до цього, температура витримування $T_{\text{витримування}}$ є більшою або рівною у зіставленні з температурою припинення охолодження $T_{\text{по}}$.

Якщо температура припинення охолодження, знаходиться в межах діапазону між 200 °С і 300 °С, спосіб, крім того, буде включати після проведення охолодження головки до температури припинення охолодження $T_{\text{по}}$ і до проведення стадії витримування головки в цьому температурному діапазоні стадію нагрівання головки гарячекатаного напівфабрикату аж до температури, яка знаходиться в межах діапазону між 300 °С і 520 °С. В такому випадку температура витримування $T_{\text{витримування}}$ є більшою, ніж температура припинення охолодження $T_{\text{по}}$.

Після проведення витримування головки 12 в температурному діапазоні, укладеному в межах діапазону між 300 °С і 520 °С, гарячекатаний напівфабрикат охолоджують аж до кімнатної температури для одержання рейки 10. Гарячекатаний напівфабрикат охолоджують аж до кімнатної температури, переважно в результаті проведення повітряного охолодження, а, зокрема, в результаті проведення природного повітряного охолодження.

У вигідному випадку після проведення охолодження рейка 10 містить мікроструктуру, яка складається, при вираженні у поверхневих часткових концентраціях, з:

- від 49 % до 67 % бейніту,
- від 14 % до 25 % залишкового аустеніту і
- від 13 % до 34 % відпущеного мартенситу.

Бейніт може включати гранулярний бейніт і безкарбідний бейніт. Переважно поверхнева часткова концентрація бейніту в мікроструктурі головки 12 є більшою або рівною 56 %.

Залишковий аустеніт і відпущений мартенсит в загальному випадку присутні в якості складових частин М/А, розташованих в проміжку між рейками або пластинами бейніту.

У бейніті між рейками або пластинами бейніту також міститься і аустеніт.

Залишковий аустеніт характеризується середнім рівнем вмісту вуглецю, який знаходиться в межах діапазону між 0,80 % і 1,44 %, переважно перевищує 1,3 %.

Переважно поверхнева часткова концентрація залишкового аустеніту в мікроструктурі головки 12 знаходиться в межах діапазону між 18 % і 23 %.

Відпущений мартенсит міститься у бейніті між рейками або пластинами бейніту і в компонентах М/А.

Мартенсит є відпущеним мартенситом, а переважно самовідпущеним мартенситом. У загальному випадку мартенсит характеризується низьким рівнем вмісту вуглецю, тобто, середнім рівнем вмісту С, строго меншим, ніж середній рівень вмісту С в сталі.

Переважно поверхнева часткова концентрація відпущеного мартенситу в мікроструктурі головки 12 знаходиться в межах діапазону між 14,5 % і 22,5 %.

Головка 12 рейки 10 характеризується твердістю, яка знаходиться в межах діапазону між 430 НВ і 470 НВ, границею міцності на розтяг, яка знаходиться в межах діапазону між 1300 МПа і 1450 МПа, границею текучості на розтяг, яка знаходиться в межах діапазону між 1000 МПа і 1150 МПа, і повним відносним подовженням, яке знаходиться в межах діапазону між 13 % і 18 %.

Необов'язково спосіб може, крім того, включати стадії остаточної обробки, і зокрема, стадії механічної машинної обробки або обробки поверхні, які проводяться, наприклад, після охолодження гарячекатаного напівфабрикату до кімнатної температури. Стадії обробки поверхні можуть, зокрема, являти собою зміцнювальну дробоструменеву обробку.

Приклади

Автори цього винаходу провели такі експерименти.

Сталі, які характеризуються композицією, відповідною таблиці 1, при вираженні через масу, одержували у формі напівфабрикату.

Таблиця 1

Сталь	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Cr (%)	Mo (%)	N (ч./млн.)	O (ч./млн.)	H (ч./млн.)
523513-L*	0,300	1,50	1,10	0,017	0,009	1,99	0,12	50	-	1,5
523514-L	0,318	1,52	1,11	0,017	0,011	1,97	0,02	56	-	1,6

Напівфабрикати піддавали гарячій прокатці для одержання гарячекатаних напівфабрикатів, які мають профіль рейки, при цьому кінцева температура прокатки $T_{\text{кп}}$ є більшою, ніж Ar_3 , після цього охолоджували від кінцевої температури прокатки $T_{\text{кп}}$ аж до температури припинення охолодження $T_{\text{по}}$ зі швидкістю охолодження так, що від температури T_0 у початковий момент охолодження $t_0=0$ с гарячекатані напівфабрикати досягали температури T_{50} після закінчення 50 с охолодження, а після цього температури T_{110} після закінчення 110 с охолодження.

Після цього головки рейок витримували в температурному діапазоні, який знаходиться в межах діапазону між 300 °C і 520 °C, при температурі $T_{\text{витримування}}$, яка дорівнює температурі припинення охолодження $T_{\text{по}}$, протягом часу витримування $t_{\text{витримування}}$.

На закінчення, рейки охолоджували аж до кімнатної температури.

Умови виготовлення рейки узагальнено представлені в наведеній нижче таблиці 2.

Таблица 2

	Сталь	$T_{\text{кп}}$ (°C)	T_0 (°C)	T_{50} (°C)	Середня швидкість охолодження між T_0 і T_1 (°C/c)	T_{110} (°C)	Середня швидкість охолодження між T_1 і $T_{\text{по}}$ (°C/c)	$T_{\text{по}}$ (°C)	$T_{\text{витримування}}$ (хв)
523513-Y208	523513-L*	998	750	592	3,2	481	1,9	434	18
523513-Y308	523513-L*	1012	754	572	3,6	446	2,1	429	20
523514-A208	523514-L	1003	751	563	3,8	467	1,6	423	23

Хімічний склад:

Зразки для проведення хімічного аналізу одержували з місця у зразку для випробування на розтяг відповідно до положення позиції 9.1.3 документа EN 13674-1:2011 року, а після цього полірували і аналізували з використанням іскрової емісійної спектроскопії для визначення середнього рівня масового процентного вмісту (%(мас.)). На додаток до цього, для встановлення рівня процентного вмісту N, O, S і C в аналізаторі LECO C/S & LECO N/O витягували, знежирювали і піддавали аналізу на слідові кількості елементів в результаті спалювання кількох штирів вагою 1 г. З використанням ІЧ-спектроскопії також аналізували і водень. Хімічний склад сталей демонструється нижче в таблиці 3.

Таблица 3

Зразок	% (мас.)							ч./млн.		
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	N	O	H
523513-Y208	0,34	1,59	1,09	0,020	0,014	2,07	0,05	65,8	29,1	1,8
523514-A208	0,34	1,58	1,09	0,019	0,016	2,04	0,01	63,9	10,6	1,5
523513-Y308	0,3	1,59	1,1	0,017	0,011	2,05	0,06	Не застосовне	Не застосовне	Не застосовне

Випробування на втому:

Зразки для випробування на втому витягували з головки рейки і піддавали механічній машинній обробці відповідно до документа ASTM E606-12.

Випробування на втому проводили при кімнатній температурі в гідравлічній універсальній випробувальній машині INSTRON 8801 при контрольованому додержанні деформації і "подвійному амплітудному" значенні 0,00135 мкм. Використана форма коливань являла собою синусоїдну хвилю при симетричній деформації +0,000675 мкм в режимі натягування і деформації -0,000675 мкм в режимі стиснення. Вироблення бази випробувань полягала в 5 мільйонів циклів при припиненні випробування на цьому значенні.

Для кожного виду зразка випробування проводили на трьох примірниках цього зразка.

Вироблення бази випробувань полягала в 5 мільйонів циклів при припиненні випробування на цьому значенні.

Таблиця 4

Зразок	Повторення	Цикли (випробування припиняли при)
523513Y208	1	Виробленні бази випробувань ($5 \cdot 10^6$ циклів)
	2	
	3	
523514A208	1	Виробленні бази випробувань ($5 \cdot 10^6$ циклів)
	2	
	3	
523513Y308	1	Виробленні бази випробувань ($5 \cdot 10^6$ циклів)
	2	
	3	

Мікроструктура – оптична мікроскопія:

Металографічні зразки одержували з головки рейки відповідно до положення Clause 9.1.4 з документа EN 13674-1:2011.

Для виявлення мікроструктури зразків рейок металографічні зразки піддавали шліфуванню, поліруванню і травленню з використанням 2 %-го ніталю. Мікроскопічні спостереження проводили з використанням мікроскопа Leica DMi4000.

Зовнішній вигляд сукупної мікроструктури у всій голівці рейки був повністю бейнітним, тобто, складається з рейок або пластин бейніту і мартенситу і аустеніту, які дисперговані між рейками або пластинами бейніту, для всіх зразків. Природу мікроструктури більш детально аналізували з використанням сканувальної електронної мікроскопії високої роздільної здатності і рентгеноструктурного аналізу.

Визначення характеристик мікроструктури з використанням рентгеноструктурного аналізу і сканувальної електронної мікроскопії високої роздільної здатності:

Відносно зразка 523513Y208 проводили детальний аналіз. Аналіз за методом електронної мікроскопії проводили з використанням електронного мікроскопа з високою роздільною здатністю з автоемісійною електронною гарматою (СЕМ-АЕП) Zeiss Ultra Plus. Випробування на дифракцію проводили з використанням рентгенівського дифрактометра Bruker D8 Advance, який використовує випромінювання $\text{CuK}\alpha$.

Рівень вмісту аустеніту і рівень вмісту вуглецю в ньому вимірювали з використанням методу PCA відповідно до рекомендацій стандарту ASTM E975 standard.

Рівень вмісту складової частини М/А одержували з використанням методу підрахунку точок вручну на одержаних з використанням методу СЕМ зображеннях відповідно до стандарту ASTM E562. Після цього рівень вмісту мартенситу визначають у результаті вирахування із рівня вмісту складової частини М/А рівня вмісту залишкового аустеніту згідно вимірюванню з використанням методу PCA. Залишок до 100 % складається з бейніту.

Мікроструктура містить 61,3 % бейніту, 20,20 % залишкового аустеніту, який характеризується рівнем вмісту вуглецю 1,38 %, і 18,5 % мартенситу.

Твердість:

З іншого боку, на поверхні кочення головки рейки оцінювали твердість за Брінеллем згідно з позицією Clause 9.1.8 з документа EN 13674-1:2011 року (середнє значення для трьох результатів вимірювань).

З іншого боку, твердість за Брінеллем оцінювали на поперечному перерізі рейки і з використанням автоматичного дюрметра Leco LV700AT.

У таблиці 5 демонструються середні значення у випробуванні на твердість на поверхні кочення (ПК) і в різних точках поперечного перерізу.

Таблиця 5

Зразок	ПК	Точка 1			Точка 2		Точка 3	Точка 4	
		Зліва	По центру	Справа	Зліва	Справа	По центру	Зліва	Справа
523513 / 208	430	417	438	426	429	432	420	412	420
523514 / 208	431	429	432	420	426	420	426	426	420
523513 / 308	434	461	443	441	440	442	435	433	461

Випробування на розтяг:

Відповідно до позиції Clause 9.1.9 з документа EN 13674-1:2011 року проводиться випробування на розтяг, відповідне документу ISO 6892-1, з використанням пропорційної вибірки круглих зразків для випробувань, які мають діаметр 10 мм. Зразки для випробувань ($D_0=10$ мм, $L_0=50$ мм) витягували і піддавали випробуванням з використанням універсальної машини для механічних випробувань Instron 600DX.

Для кожного виду зразка випробування проводили на трьох примірниках цього зразка.

У таблиці 6 демонструються результати з границі текучості на розтяг (YS), границі міцності на розтяг (TS) і відносного подовження (A50).

Таблиця 6

Зразок	YS (МПа)	TS (МПа)	A50 (%)
523513/Y208	1089	1440	14
523514/A208	1098	1452	14
523514/Y308	1052	1442	14

Коефіцієнт лінійного теплового розширення (КЛТР):

Коефіцієнт КЛТР вимірювали в напрямку прокатки рейки. Зразки для випробувань (мають в діаметр 4 мм і в довжину 10 мм) витягували з місця розташування по центру зразка для випробувань на розтяг і оцінювали коефіцієнт теплового розширення в діапазоні від -70 °C до $+70$ °C при 2 °C/хв. з використанням дилатометрії високого дозволу (BAHR 805A/D).

Відносна зміна довжини (dL/L_0) і коефіцієнт теплового розширення (КТР) для одного з трьох проведених прогонів нагрівання зображені на Фіг. 3.

Слідом за цим в таблиці 7 демонструється технічний коефіцієнт КЛТР з використанням 25 °C в якості базової температури.

Таблиця 7

Марка / нагрівання / рейка	КЛТР _{25/50}	КЛТР _{25/0}	КЛТР _{25/-25}	КЛТР _{25/-50}
ВМ 60Е2 / 523513 / Y208	15,1	14,5	11,3	12,0
ВМ 60Е2 / 523514 / A208	14,6	14,4	11,2	11,9

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Спосіб виготовлення рейки, яка містить головку, при цьому спосіб включає наступні послідовні стадії:

розливання сталі для одержання напівфабрикату, при цьому зазначена сталь характеризується хімічним складом, який містить, при вираженні у масових відсотках:

$0,20\% \leq C \leq 0,60\%$,

$1,0\% \leq Si \leq 2,0\%$,

$0,60\% \leq Mn \leq 1,60\%$ і

$0,5\% \leq Cr \leq 2,2\%$,

причому решта являє собою Fe і неминучі домішки;

гарячу прокатку напівфабрикату для одержання гарячекатаного напівфабрикату, який має профіль рейки і містить головку, при цьому кінцева температура прокатки $T_{кп}$ є більшою, ніж Ar_3 ;

охолодження головки гарячекатаного напівфабрикату від кінцевої температури прокатки $T_{кп}$ аж до температури припинення охолодження $T_{по}$, яка знаходиться в межах діапазону між 200 і 520 °C, так, що температура головки гарячекатаного напівфабрикату з плином часу знаходиться в межах діапазону між верхнім граничним значенням і нижнім граничним значенням, причому верхнє граничне значення має координати за часом і температурою, визначені позиціями A1 (0 с, 780 °C), B1 (50 с, 600 °C) і C1 (110 с, 520 °C), а нижнє граничне значення має координати за часом і температурою, визначені позиціями A2 (0 с, 675 °C), B2 (50 с, 510 °C) і C2 (110 с, 300 °C);

витримування головки гарячекатаного напівфабрикату в температурному діапазоні, в межах між 300 і 520 °C, протягом часу витримування $t_{\text{витримування}}$, який становить щонайменше 12 хв; і охолодження гарячекатаного напівфабрикату до кімнатної температури для одержання рейки.

2. Спосіб за п. 1, в якому мікроструктура головки рейки складається, при вираженні у поверхневих часткових концентраціях, з:

від 49 до 67 % бейніту;

від 14 до 25 % залишкового аустеніту, при цьому залишковий аустеніт характеризується середнім рівнем вмісту вуглецю в межах діапазону між 0,80 і 1,44 %; і

від 13 до 34 % відпущеного мартенситу.

5 3. Спосіб за п. 2, в якому поверхнева часткова концентрація бейніту в мікроструктурі головки є більше або рівною 56 %.

4. Спосіб за п. 2 або 3, в якому поверхнева часткова концентрація залишкового аустеніту в мікроструктурі головки знаходиться в межах діапазону між 18 і 23 %.

10 5. Спосіб за будь-яким із пп. 2-4, в якому поверхнева часткова концентрація відпущеного мартенситу в мікроструктурі головки знаходиться в межах діапазону між 14,5 і 22,5 %.

6. Спосіб за будь-яким із пп. 2-5, в якому середній рівень вмісту вуглецю в залишковому аустеніті перевищує 1,3 %.

7. Спосіб за будь-яким із пп. 1-6, в якому температура припинення охолодження $T_{\text{по}}$ знаходиться в межах діапазону між 300 і 520 °С.

15 8. Спосіб за будь-яким із пп. 1-6, в якому температура припинення охолодження $T_{\text{по}}$ знаходиться в межах діапазону між 200 і 300 °С, при цьому спосіб також включає після проведення стадії охолодження головки гарячекатаного напівфабрикату аж до температури припинення охолодження $T_{\text{по}}$ і до проведення стадії витримування головки в даному температурному діапазоні стадію нагрівання головки гарячекатаного напівфабрикату аж до

20 температури, яка знаходиться в межах діапазону між 300 і 520 °С.

9. Спосіб за будь-яким із пп. 1-8, в якому стадію охолодження головки гарячекатаного напівфабрикату проводять з використанням водяних струменів.

25 10. Спосіб за будь-яким із пп. 1-9, в якому під час проведення стадії охолодження головки гарячекатаного напівфабрикату весь гарячекатаний напівфабрикат охолоджують так, що температура гарячекатаного напівфабрикату з плином часу буде знаходитися в межах діапазону між зазначеним верхнім граничним значенням і зазначеним нижнім граничним значенням.

30 11. Спосіб за будь-яким із пп. 1-10, в якому під час проведення стадії гарячої прокатки напівфабрикату напівфабрикат піддають гарячій прокатці від температури початку гарячої прокатки, яка перевищує 1080 °С, переважно перевищує 1180 °С.

12. Спосіб за будь-яким із пп. 1-11, в якому хімічний склад сталі містить, у масових відсотках: $0,30 \% \leq C \leq 0,60 \%$.

13. Спосіб за будь-яким із пп. 1-12, в якому хімічний склад сталі містить, у масових відсотках: $1,25 \% \leq Si \leq 1,6 \%$.

35 14. Спосіб за будь-яким із пп. 1-13, в якому хімічний склад сталі містить, у масових відсотках: $1,09 \% \leq Mn \leq 1,5 \%$.

15. Спосіб за будь-яким із пп. 1-14, в якому хімічний склад сталі додатково містить, при вираженні в масових відсотках, один або кілька елементів, вибраних з:

$0,01 \% \leq Mo \leq 0,3 \%$,

40 $0,01 \% \leq V \leq 0,30 \%$.

16. Сталева рейка, виготовлена зі сталі, яка характеризується хімічним складом, який містить, при вираженні у масових відсотках:

$0,20 \% \leq C \leq 0,60 \%$,

$1,0 \% \leq Si \leq 2,0 \%$,

45 $0,60 \% \leq Mn \leq 1,60 \%$ і

$0,5 \% \leq Cr \leq 2,2 \%$,

причому решта являє собою Fe і неминучі домішки,

при цьому сталева рейка містить головку, яка має мікроструктуру, яка складається, при вираженні у поверхневих часткових концентраціях, з:

50 від 49 до 67 % бейніту,

від 14 до 25 % залишкового аустеніту, причому залишковий аустеніт характеризується середнім рівнем вмісту вуглецю, який знаходиться в межах діапазону між 0,80 і 1,44 %, і

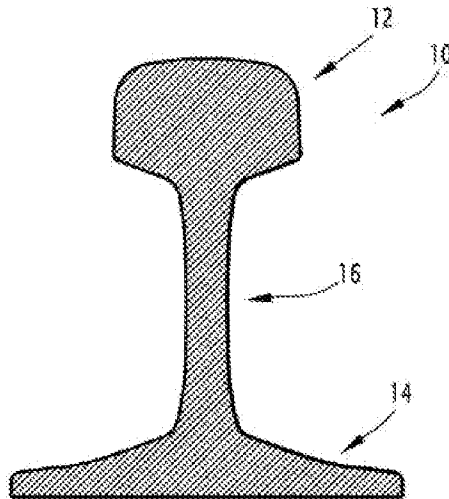
від 13 до 34 % відпущеного мартенситу.

55 17. Сталева рейка за п. 16, в якій поверхнева часткова концентрація бейніту в мікроструктурі головки рейки перевищує 56 %.

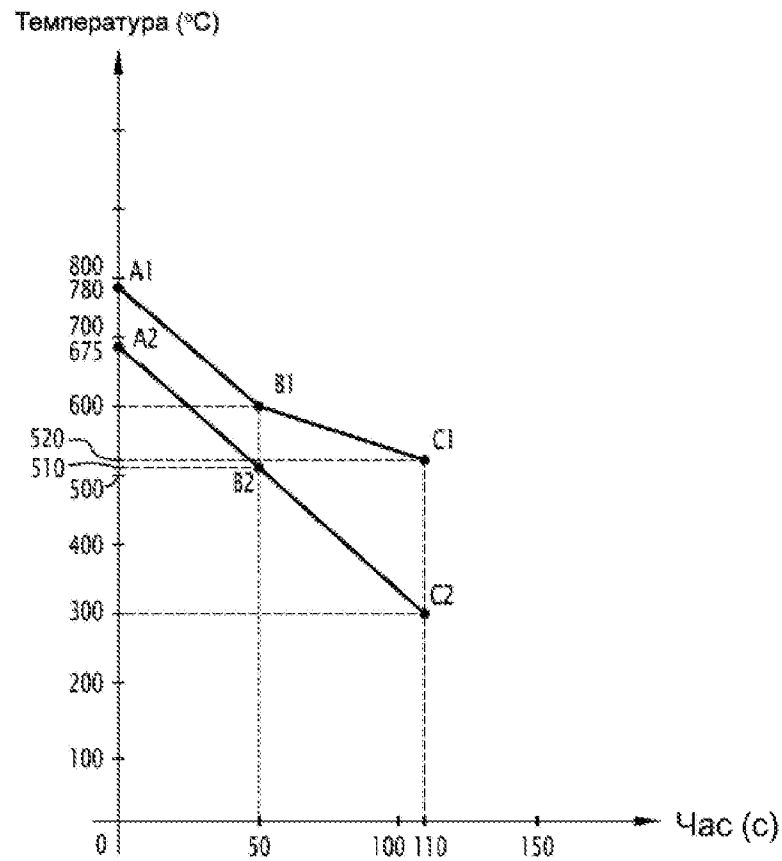
18. Сталева рейка за п. 16 або 17, в якій поверхнева часткова концентрація залишкового аустеніту в мікроструктурі головки рейки знаходиться в межах діапазону між 18 і 23 %.

60 19. Сталева рейка за будь-яким із пп. 16-18, в якій поверхнева часткова концентрація відпущеного мартенситу в мікроструктурі головки рейки знаходиться в межах діапазону між 14,5 і 22,5 %.

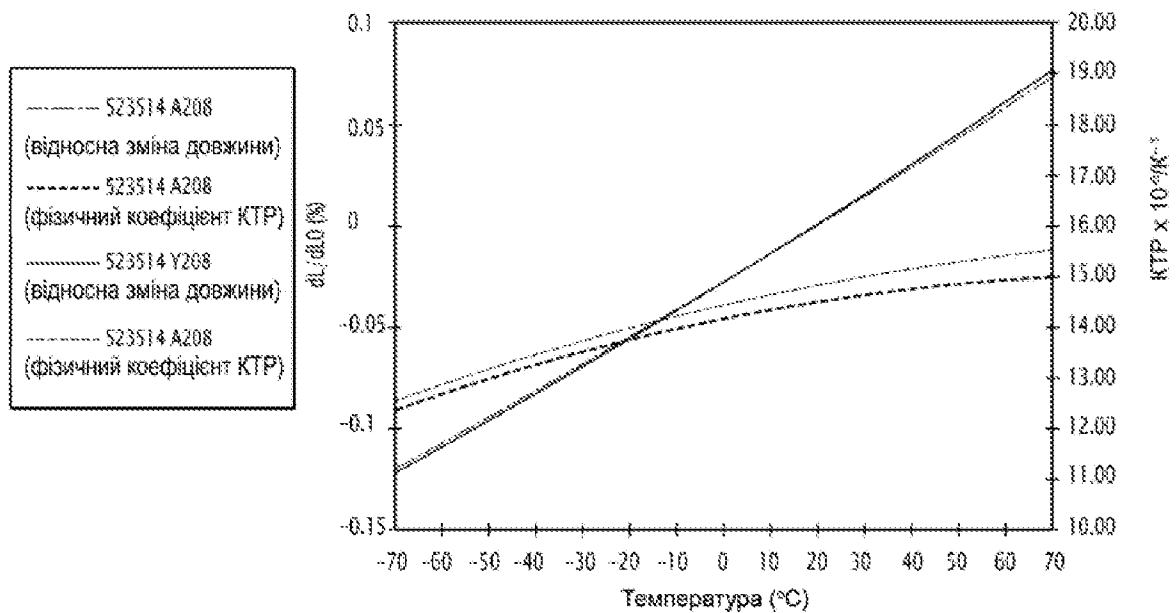
20. Сталева рейка за будь-яким із пп. 16-19, в якій середній рівень вмісту вуглецю в залишковому аустеніті перевищує 1,3 %.
21. Сталева рейка за будь-яким із пп. 16-20, в якій хімічний склад сталі містить, у масових відсотках: $0,30\% \leq C \leq 0,6\%$.
- 5 22. Сталева рейка за будь-яким із пп. 16-21, в якій хімічний склад сталі містить, у масових відсотках: $1,25\% \leq Si \leq 1,6\%$.
23. Сталева рейка за будь-яким із пп. 16-22, в якій хімічний склад сталі містить, у масових відсотках: $0,9\% \leq Mn \leq 1,5\%$.
24. Сталева рейка за будь-яким із пп. 16-23, в якому хімічний склад сталі додатково містить, при вираженні в масових відсотках, один або кілька елементів, вибраних з:
- 10 $0,01\% \leq Mo \leq 0,3\%$,
 $0,01\% \leq V \leq 0,30\%$.
25. Сталева рейка за будь-яким із пп. 16-24, в якій головка рейки характеризується твердістю, яка знаходиться в межах діапазону між 420 і 470 НВ, переважно перевищує 450 НВ.
- 15 26. Сталева рейка за будь-яким із пп. 16-25, в якій головка рейки характеризується границею міцності на розтяг, яка знаходиться в межах діапазону між 1300 і 1450 МПа.
27. Сталева рейка за будь-яким із пп. 16-26, в якій головка рейки характеризується границею текучості на розтяг, яка знаходиться в межах діапазону між 1000 і 1150 МПа.
28. Сталева рейка за будь-яким із пп. 16-27, в якій головка рейки характеризується повним відносним подовженням, яке знаходиться в межах діапазону між 13 і 18 %.
- 20



Фіг. 1



Фіг. 2



Фіг. 3