

(12) МЕЖДУНАРОДНАЯ ЗАЯВКА, ОПУБЛИКОВАННАЯ В
СООТВЕТСТВИИ С ДОГОВОРом О ПАТЕНТНОЙ КООПЕРАЦИИ (РСТ)

(19) Всемирная Организация
Интеллектуальной Собственности
Международное бюро

(43) Дата международной публикации
12 марта 2020 (12.03.2020)



(10) Номер международной публикации
WO 2020/050737 A1

(51) Международная патентная классификация:
B21B 1/085 (2006.01) **C22C 38/12** (2006.01)

(21) Номер международной заявки: PCT/RU2018/000584

(22) Дата международной подачи:
04 сентября 2018 (04.09.2018)

(25) Язык подачи: Русский

(26) Язык публикации: Русский

(71) Заявитель: АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО "ЕВРАЗ
ОБЪЕДИНЕННЫЙ ЗАПАДНО-СИБИРСКИЙ МЕ-
ТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ" (JOINT
STOCK COMPANY "EVRAZ CONSOLIDATED
WEST SIBERIAN METALLURGICAL PLANT")
[RU/RU]; ш. Космическое, 16, Новокузнецк, Кемеров-
ская обл., 654043, Novokuznetsk (RU).

(72) Изобретатели: **ПОЛЕВОЙ, Егор Владимирович**
(POLEVOY, Egor Vladimirovich); ул. Челюски-
на, 22-96, Новокузнецк, Кемеровская обл., 654063,
Novokuznetsk (RU). **ЮНИН, Геннадий Николае-
вич** (IUNIN, Gennadii Nikolaevich); ул. Проф-
союзная, 22/11, корп.1, кв.120, Москва, 117292,
Moscow (RU). **КУЗНЕЦОВ, Евгений Павлович**
(KUZNETSOV, Evgeny Pavlovich); ул. Орджо-
никидзе, 33-113, Новокузнецк, Кемеровская обл.,
654007, Novokuznetsk (RU). **ДОРОФЕЕВ, Владимир**
Викторович (DOROFEEV, Vladimir Viktorovich);
ул. Циолковского, 33-13, Новокузнецк, Кемеровская
обл., 654041, Novokuznetsk (RU). **ГОЛОВАТЕН-**
КО, Алексей Валерьевич (GOLOVATENKO, Aleksei
Valerevich); пр. Ермакова, 5-49, Новокузнецк, Кемеров-
ская обл., 654007, Novokuznetsk (RU).

(74) Агент: **ПРОНИН, Виктор Олегович** (PRONIN,
Victor Olegovich); а/я 34, Санкт-Петербург, 196066,
St.Petersburg (RU).

(81) Указанные государства (если не указано иначе, для
каждого вида национальной охраны): AE, AG, AL, AM,
AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ,
CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,
HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP,
KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME,
MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ,
OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA,
SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN,
TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Указанные государства (если не указано иначе, для
каждого вида региональной охраны): ARIPO (BW, GH,
GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ,
UG, ZM, ZW), евразийский (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU,
TJ, TM), европейский патент (AL, AT, BE, BG, CH, CY,
CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT,
LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE,
SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN,
GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Опубликована:

— с отчётом о международной поиске (статья 21.3)

(54) Title: METHOD FOR MANUFACTURING RAILWAY RAILS WITH ENHANCED RESISTANCE TO WEAR AND CONTACT FATIGUE

(54) Название изобретения: СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ ПОВЫШЕННОЙ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ И КОНТАКТНОЙ ВЫНОСЛИВОСТИ.

(57) Abstract: The invention relates to a method for rolling railway rails using residual rolling heat. The method includes heating a billet for rolling, carrying out multiple roughing and intermediate passes in two-high reversing stands and in universal stands of a continuous-reversing group, respectively, and subsequently carrying out differential cooling of the head and foot of the rail from a temperature of 720-870°C to a temperature of 450-600°C. Roughing is carried out in a temperature range of 950-1100°C with a reduction ratio per pass of 1.12-1.30, and intermediate rolling is carried out in a temperature range of 850-1000°C with a reduction ratio of 1.07-1.18. Finishing is then carried out in a separate universal non-reversing stand in a temperature range of 820-880°C and with a reduction ratio of 1.07-1.10. The rail has a balanced combination of strength and plasticity properties, hardness and toughness.

(57) Реферат: Изобретение относится к способу прокатки железнодорожных рельсов с использованием остаточного тепла нагрева под прокатку. Способ включает нагрев заготовки под прокатку, многопроходные черновую и чистовую прокатку соответственно, в дуго-реверсивных клетях и в универсальных клетях непрерывно-реверсивной группы, последующее дифференцированное охлаждение по головке и подошве рельса от температуры 720-870°C до температуры 450-600 °C. Черновую прокатку проводят в температурном интервале 950- 1100 °C с коэффициентом вытяжки за проход 1,12-1,30, а чистовую - в температурном интервале 850-1000°C с коэффициентом вытяжки 1,07-1,18. После проводят финишную прокатку в отдельной стоящей универсальной неревверсивной клетки в температурном интервале 820-880°C с коэффициентом вытяжки 1,07-1,10. Рельс обладает сбалансированным комплексом прочностных и пластических свойств, твердости и ударной вязкости.



WO 2020/050737 A1

СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ ПОВЫШЕННОЙ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ И КОНТАКТНОЙ ВЫНОСЛИВОСТИ

5

Область техники

Изобретение относится к области черной металлургии, в частности к способам прокатки и термической обработки железнодорожных рельсов, с использованием остаточного тепла нагрева под прокатку и может быть использовано при изготовлении рельсов повышенной износостойкости и контактной выносливости.

10

Уровень техники

Известен способ термической обработки рельсов из высокоуглеродистой стали, содержащей 0,90-1,20% углерода, предусматривающий после окончания прокатки в течение ≤ 60 с ускоренное охлаждение со скоростью 5-20 °C/с кромочных участков подошвы от температур ≥ 650 °C, затем головку, шейку и центральную часть подошвы подвергают охлаждению со скоростью 1-10 °C/с (JP №4267334 C21D9/04).

15

Существенными недостатками указанного способа термической обработки являются 1) отсутствие регламентированных температур нагрева под прокатку и окончания прокатки, не позволяющее эффективно измельчить аустенитное зерно и получить высокие значения ударной вязкости, относительного удлинения и сужения; 2) головка и подошва рельса охлаждаются с одинаковой скоростью, вследствие этого рельсы перед правкой имеют большую кривизну и возникает необходимость в холодной правке рельсов по режимам, неблагоприятно сказывающимся на величине остаточных напряжений.

25

Известен способ получения рельса с перлитной структурой из стали, содержащей 0,65-1,20 % углерода, 0,05-2,00 % кремния и 0,05 – 2,00 % марганца, железо и неизбежные примеси остальное, предусматривающий чистовую прокатку рельса при температуре не более 900 °C и охлаждение

30

до температуры не выше 550 °C со скоростью 2-30 °C/сек (EP №2045341 (A1) C21D8/00, C21D 9/04).

Существенными недостатками данного способа являются 1) отсутствие в химическом составе рельсовой стали хрома, никеля и ванадия, оказывающих благоприятное воздействие на микроструктуру и механические свойства рельсов; 2) отсутствие регламентированной температуры нагрева под прокатку, что увеличивает величину исходного аустенитного зерна, уменьшает эффективность режимов прокатки в обжимных клетях, и не позволяет обеспечить необходимый уровень ударной вязкости, пластичности и прочности; 3) отсутствие дифференцированного охлаждения подошвы и головки рельсов, что приводит к увеличению их кривизны после термической обработки и высокому уровню остаточных напряжений.

Известны также способы термической обработки рельсов из углеродистой или низколегированной стали, предусматривающие ускоренное охлаждение рельса с температуры аустенитной области в диапазоне 750-650 °C (JP №4267267, C21D 9/04), ускоренное охлаждение со скоростью 5-15 °C/с до температуры 650-500°C (RU №2113511, C21D 9/04), ускоренное охлаждение со скоростью 10-30 °C/с до температуры 750-600 °C (RU №97121881, C21D 9/04, C22C 38/04), ускоренное охлаждение со скоростью 5-15°C/с до температуры 650-500°C (RU №96123715, C21D9/04), ускоренное охлаждение поверхностного слоя головки рельса от Ar1 со скоростью 1-10°C/с и 2-20°C/с на глубине ≥ 20 мм (JP №3731934, C21D9/04).

Существенными недостатками указанных способов термической обработки рельсов являются: 1) отсутствие регламентированных температур нагрева под прокатку и окончания прокатки, а также регламентированных коэффициентов вытяжек при прокатке в черновых и чистовых клетях, не позволяющие эффективно измельчить аустенитное зерно и получить высокие значения комплекса механических свойств; 2) отсутствие регламенти-

рованного охлаждения подошвы рельсов, что неблагоприятно сказывается на их кривизне.

Известен также способ изготовления рельсов, предусматривающий чистовую прокатку рельса в два этапа. На первом этапе прокатывают блюм с обжатием не менее 15 % за проход, на второй половине чистовой прокатки выполняют прокатку в один или несколько проходов с обжатием не более 10% за проход в интервале температур 800-950 °С. Непосредственно после завершения чистовой прокатки температуру поверхности рельса быстро снижают со скоростью не менее 6 °С/сек в течение 0,1-30 сек до 500-600 °С, а затем проводят ускоренное охлаждение со скоростью не менее 3 °С/сек. (JP 3625224 (B2) 8332501 (A)).

Существенными недостатками данного метода являются отсутствие регламентированных температурных режимов черновой и финишной прокатки, отсутствие регламентированных коэффициентов вытяжек при прокатке в черновых калибрах, что не позволяет произвести эффективное измельчение структуры и получить сочетание высоких значений прочностных и пластических свойств, твердости и ударной вязкости головки рельсов, обеспечивающих высокий уровень износостойкости и контактно-усталостной выносливости рельсов при эксплуатации.

Наиболее близким техническим решением является способ изготовления рельса, предусматривающий прокатку рельсов на стане с универсальной группой клетей тандем при температуре нагрева заготовки под прокатку в интервале от 1100 до 1200 °С, чистовую прокатку в интервале температур 850-950 °С, ускоренное дифференцированное охлаждение по головке и подошве рельса воздухом или воздухом с примесью воды от температуры 720-850 °С со скоростью соответственно 1,5-6,0 °С/с до температуры не более 620 °С, при этом в каждом конкретном случае скорость охлаждения по головке отличается от скорости охлаждения по подошве. Сталь содержит, мас. %: углерод 0,72-0,78 и при необходимости дополни-

тельно: от 0,15 до 0,60 хрома, от 0,10 до 0,60 никеля, от 0,05 до 0,15 ванадия, от 0,007 до 0,020 азота. (RU 2601847 C1).

Существенным недостатком данного способа производства рельса является отсутствие регламентированных температурных режимов и коэффициентов вытяжек черновой, чистовой прокатки, вследствие чего невозможно получение сбалансированного комплекса прочностных и пластических свойств, твердости и ударной вязкости, обеспечивающих высокий уровень износостойкости и контактно-усталостной выносливости рельсов при эксплуатации.

Задачей изобретения является получение дифференцированно термоупрочненных с использованием остаточного тепла предпрокатного нагрева железнодорожных рельсов, со сбалансированным комплексом механических свойств, а именно: временного сопротивления разрыву не менее 1300 Н/мм², предела текучести не менее 870 Н/мм², относительного удлинения не менее 8,0 %, относительного сужения – не менее 20 %, твердости на поверхности катания головки рельса не менее 400 НВ и ударной вязкости при температуре испытания +20 °С не менее 15 Дж/см².

Раскрытие

Поставленная задача достигается тем, что в способе изготовления железнодорожных рельсов повышенной износостойкости и контактно-усталостной выносливости, включающем нагрев заготовки под прокатку многопроходные черновую и чистовую прокатки соответственно в дуо-реверсивных клетях и в универсальных клетях непрерывно-реверсивной группы, последующее дифференцированное охлаждение по головке и подошве рельса от температуры 720 – 870 °С до температуры 450 – 600 °С, согласно изобретению, черновую прокатку проводят в температурном интервале 950 – 1100 °С с коэффициентом вытяжки за проход в пределах 1,12-1,30, а чистовую – в температурном интервале 850 – 1000 °С с коэффициентом вытяжки в универсальных калибрах в пределах 1,07-1,18,

после чего проводят финишную прокатку в отдельно стоящей универсальной клетки в температурном интервале 820 – 880 °С с коэффициентом вытяжки в пределах 1,07-1,10. При этом заготовка выполнена из стали, содержащей мас. %: 0,85-1,2 углерода, 0,2-1,25 марганца, 0,2-0,9 кремния, 0,001-0,06 ниобия, а также при необходимости один или несколько элементов следующей группы мас. %: 0,1-0,8 хрома, 0,05-0,6 никеля, 0,01-0,15 ванадия, 0,005-0,015 азота. .

Другим объектом настоящего изобретения является сталь для изготовления железнодорожных рельсов, содержащая мас. %: 0,85-1,2 углерода, 0,2-1,25 марганца, 0,2-0,9 кремния, согласно изобретению, в состав дополнительно введено 0,001-0,06 мас. % ниобия.

Возможен вариант осуществления, согласно которому в состав стали дополнительно введен один или несколько элементов следующей группы мас. %: 0,1-0,8 хрома, 0,05-0,6 никеля, 0,01-0,15 ванадия, 0,005-0,015 азота.

15

Подробное описание

Термическую обработку рельсов производят непосредственно после прокатки с использованием остаточного тепла предпрокатного нагрева. Охлаждение рельса производят со скоростями от 1,5 до 6 градусов в секунду для достижения сбалансированного комплекса свойств, при этом охлаждение головки, шейки и подошвы производится с различными скоростями для обеспечения необходимой прямолинейности рельсового раската. Температура начала термообработки 720 – 870 °С, окончания – 450 – 600 °С.

Заявляемые диапазоны технических параметров выбраны экспериментальным путем, исходя из требований к твердости, механическим свойствам, ударной вязкости и микроструктуре рельсов из заэвтектоидной стали.

Выбор заявленной температуры нагрева под прокатку обусловлен тем, что при температурах нагрева НЛЗ под прокатку свыше 1200 °С не обеспечивается эффективное подавление рекристаллизационных процессов при прокатке в первых пропусках на обжимных клетях, а при температурах менее 1150 °С существенно снижается пластичность стали, вследствие чего увеличиваются нагрузки на валки, происходит их повышенный износ, образуются выколы, увеличивается образование поверхностных дефектов.

Выбор заявленной температуры прокатки в последних пропусках группы тандем от 820 до 880 °С обусловлен тем, что при температурах свыше 880 °С не достигается эффективное измельчение аустенитного зерна, а при температурах менее 820 °С существенно уменьшается пластичность металла, возрастают нагрузки на прокатные валки, и возникает риск получения закалочных структур в поверхностных слоях рельсов вследствие контакта с водой, подаваемой для охлаждения прокатных валков.

Выбор заявляемых коэффициентов вытяжек обусловлен следующими соображениями: при многопроходном обжатии заготовки в валках черновых дуо-реверсивных клетей с вытяжными калибрами с коэффициентом вытяжки за проход более 1,3 при выбранных температурных режимах прокатки происходит интенсивное взаимодействие прокатываемой стали со стенками калибра при этом происходит схватывание и отрыв частиц металла от валков, что в совокупности с циклическими механическими и термическими напряжениями, приводит к повышенному износу калибров. В результате ухудшается качество поверхности рельса и увеличивается расход валков.

При обжатиях заготовок в валках черновых дуо-реверсивных клетей с коэффициентом вытяжки менее 1,12 необходимо увеличение требуемого числа проходов, что значительно снижает производительность стана.

Процесс чистовой многопроходной прокатки в клетях непрерывно-реверсивной группы в температурных интервалах 850 – 1000°C с коэффициентом вытяжки за проход в пределах 1,07 – 1,18 позволяет получить наиболее мелкозернистую структуру и высокие механические свойства рельсовой стали, за счет экспериментально установленной зависимости по увеличению количества образований центров новых зерен при деформации металла в этом диапазоне вытяжек.

Чистовая прокатка при температурах свыше 1000 °C не обеспечивает подавление рекристаллизационных процессов и эффективное измельчение зерна, а при температурах ниже 850 °C уменьшается пластичность стали, возрастают нагрузки на валки и увеличивается риск образования поверхностных дефектов.

Вытяжка менее 1,07 в температурном интервале от 850 до 1000 °C не позволяет эффективно измельчить структуру головки рельса, величина вытяжки в универсальном четырехвалковом калибре более 1,18 в рассматриваемом температурном интервале может привести к появлению анизотропии механических свойств в головке рельса, что ухудшает качество рельса.

Для соблюдения прямолинейности и обеспечения требуемых геометрических размеров профиля рельсов по всей их длине в заданном диапазоне допусков проводят финишную прокатку в отдельно стоящей универсальной нереверсивной клетке в температурном интервале 820 – 880 °C с коэффициентом вытяжки в пределах 1,07-1,10.

При температурах финишной прокатки не ниже 820°C и не выше 880°C вытяжка раската с коэффициентом более чем 1,1 приводит к возрастанию контактных нагрузок, увеличению износа валков, ухудшению получения точной геометрии профиля. Вытяжка раската менее 1,07 – приводит к невыполнению высоты выпуклой маркировки по шейке профиля в пределах требуемых ГОСТом.

Заявляемый химический состав стали выбран исходя из следующих предпосылок:

Содержание углерода в металле на уровне 0,85-1,20 % при прокатке и термической обработке рельсов согласно предлагаемой технологии
5 обеспечивает сбалансированный комплекс механических свойств и твердости. При снижении углерода менее 0,85 %, уменьшается количество карбидов и ухудшается прочность и твердость рельсов, с не достижением твердости в заявляемых пределах - свыше 400 НВ. При повышении углерода более 1,20 % увеличивается количество структурносвободного це-
10 ментита в виде зернограницной сетки, снижается ударная вязкость и пластичность рельсов.

Увеличение содержания кремния до 0,9 % повышает пределы текучести и прочности рельсовой стали за счет упрочнения твердого раствора феррита в перлитной составляющей, а при снижении содержания кремния
15 менее 0,20 % влияние его будет недостаточным. При повышении содержания кремния более 0,90 % возрастает вероятность падения пластичности и ударной вязкости.

Марганец улучшает прокаливаемость рельсовой стали и при его концентрации до 1,25 % достигается требуемый уровень твердости и проч-
20 ности. Если содержание марганца составляет менее 0,20%, влияние его незначительно, при содержании более 1,25% возрастает вероятность образования мартенсита.

Хром увеличивает прокаливаемость рельсовой стали и увеличивает прочность перлита за счет образования легированного цементита. При со-
25 держании хрома менее 0,10 % воздействие его незначительно, увеличение его содержания более 0,80 % приводит к образованию мартенсита.

Никель интенсивно упрочняет феррит, с одновременным сохранением вязкости и снижением порога хладноломкости стали. При содержании

никеля менее 0,05 % действие его незначительно, увеличение содержания никеля свыше 0,60 % приводит к существенному удорожанию стали.

Введение азота в сочетании с ванадием и / или ниобием позволяет получить измельченное зерно аустенита, что обеспечивает увеличение сопротивляемости хрупкому разрушению. Наличие карбидо- и нитридообразующих ванадия и / или ниобия при этом позволяет добиваться необходимой растворимости азота в соединениях. При содержании азота менее 0,005% действие его незначительно, вследствие чего невозможно обеспечить измельчение зерна, а при содержании азота более 0,015% возможны случаи пятнистой ликвации и «азотного» кипения (пузыри в стали). Выбранные содержания ванадия и ниобия обеспечивают получение требуемой ударной вязкости за счет карбонитридного упрочнения. При концентрации ванадия менее 0,05% и ниобия менее 0,001 % действие их незначительно. При введении в сталь ванадия более 0,15 % и / или ниобия более 0,06 % возрастает количество грубых карбонитридов, которые декарбируют границы зерна и приводят к снижению ударной вязкости, а также приводят к существенному удорожанию стали.

Пример реализации изобретения.

Рельсовую сталь (таблица 1) выплавляли в 100-тонной дуговой электросталеплавильной печи ДСП-100 И7 и разливали на МНЛЗ. Полученные заготовки нагревали до температуры 1150-1200 °С и прокатывали на рельсы типа Р65 длиной 100м на рельсобалочном стане. Коэффициенты вытяжек рельсовых раскатов при прокатке в дуо-реверсивных клетях и в клетях непрерывно-реверсивной группы представлены в таблице 2, температура рельсовых раскатов – в таблице 3, из которой видно, что прокатку в дуо-реверсивных клетях осуществляли при температурах 950–1100 °С, прокатку в клетях непрерывно-реверсивной группы обжатия проводили в температурном интервале 850 – 1000 °С. Завершали прокатку в финишной

клетки в температурном диапазоне 820 °С – 880 °С с коэффициентом вытяжки 1,08.

Таблица 1

Химический состав рельсовой стали

5

Номер рельса	Массовая доля элементов, %										
	C	Mn	Si	V	Cr	Ni	Cu	S	P	N ₂	Nb
1	0,85	0,20	0,90	0,01	0,80	0,05	0,04	0,010	0,011	0,010	0,001
2	0,89	0,44	0,81	0,05	0,65	0,08	0,05	0,006	0,012	0,007	0,003
3	0,95	0,95	0,57	0,03	0,44	0,40	0,07	0,008	0,011	0,008	0,001
4	1,15	0,80	0,27	0,13	0,15	0,12	0,07	0,012	0,011	0,013	0,034
5	1,20	0,57	0,20	0,01	0,10	0,31	0,09	0,011	0,014	0,017	0,060
6	0,97	1,10	0,44	0,08	0,24	0,17	0,05	0,007	0,013	0,005	0,002
7	0,86	1,25	0,38	0,05	0,31	0,52	0,06	0,006	0,011	0,011	0,017
8	1,17	0,52	0,85	0,15	0,12	0,09	0,07	0,008	0,012	0,014	0,010
9	0,89	0,33	0,29	0,04	0,55	0,60	0,05	0,008	0,014	0,012	0,024
10	1,09	1,00	0,48	0,11	0,22	0,28	0,11	0,011	0,010	0,016	0,001
11	0,92	0,90	0,70	0,09	0,37	0,14	0,06	0,010	0,011	0,020	0,048

Таблица 2

Клеть	Номер прохода	Коэффициент вытяжки
Дуо-реверсивная BD1	1	1,119
	2	1,173
	3	1,146
	4	1,262
	5	1,162
	6	1,135
	7	1,282
Дуо-реверсивная BD2	1	1,296
	2	1,188
	3	1,113
Непрерывно-реверсивный стан	UR1	1,156
	ER1	1,081
	UF1	1,170
	UF2	1,173
	ER2	1,017
	UR2	1,126
	UR3	1,093
	ER3	1,014
Универсальная нереверсивная) клеть	U0	1,08

Таблица 3

10

Но- мер рель- са	Темпе- ратура НЛЗ на выдаче из ПШБ, °C	Температура рельсового раската при прокатке на клети, °C						
		BD1		BD2		TDM		Клеть U0
						В первом и тре- тьем пропусках		В по- следнем пропус- ке
		макси- мум	мини- мум	макси- мум	мини- мум	макси- мум	ми- ни- мум	
1	1177	1057	1015	1014	1010	908	888	864
2	1184	1072	1036	1029	1024	927	901	875
3	1192	1076	1033	1020	1018	923	903	878
4	1200	1083	1040	1031	1027	929	907	880
5	1165	1053	1024	1020	1018	918	896	876
6	1178	1056	1014	1012	1008	909	886	861
7	1154	1040	1001	1000	998	894	872	839
8	1152	1038	998	995	992	890	861	833
9	1150	1034	993	990	988	886	857	820
10	1168	1059	1030	1023	1019	918	895	859
11	1189	1080	1042	1036	1034	932	900	879

После окончания прокатки рельсы позиционировали в положение «на подошву» и по одному задавали в охлаждающее устройство и подвергали дифференцированной закалке, (то есть производили ускоренное охлаждение элементов профиля с разными скоростями). Охлаждение головки и подошвы рельса проводили в интервале температур от 720-880 °C до температур 450-600 °C со скоростью 1,5-6 °C/сек. После охлаждения, рельс с температурой 450-600 °C выдавали из охлаждающего устройства и передавали на холодильник.

Технологические параметры охлаждения рельсов приведены в таблице 4.

Таблица 4

№ рельса	Режим охлаждения рельса					
	Температура начала охлаждения, °C		Скорость охлаждения, °C/сек		Температура рельса после охлаждения, °C	
	головка	подошва	головка	подошва	головка	подошва
1	858	852	4,8	4,6	450	461
2	880	856	6	5,5	490	498
3	878	859	5,4	5	545	550
4	880	870	6	5,5	520	540

№ рельса	Режим охлаждения рельса					
	Температура начала охлаждения, °C		Скорость охлаждения, °C/сек		Температура рельса после охлаждения, °C	
	головка	подошва	головка	подошва	головка	подошва
5	853	830	2,2	1,9	500	525
6	867	840	1,9	1,5	563	600
7	837	811	2,1	1,8	585	595
8	750	737	2,7	2,3	480	507
9	725	720	2,4	2,3	509	513
10	834	824	1,8	1,6	582	600
11	870	850	3,7	3,3	500	520

После охлаждения и правки исследовали микроструктуру металла, определяли механические свойства при растяжении твердость на поверхности катания и по сечению, ударную вязкость при температуре испытания +20 °C.

Результаты механических испытаний при растяжении, твёрдости и ударной вязкости опытного металла представлены в таблице 5.

Таблица 5

10 Результаты механических испытаний при растяжении, твердости и ударной вязкости

Но- мер рель са	σ _T	σ _B	δ ₅	ψ	Твердость							Удар- ная вяз- кость KCU, Дж/см ² при темпе- ратуре испы- тания
	Н/мм ²		%		HB ₁₀	HB _{10в} л	HB _{10в} п	HB ₂ 2	HB _ш	HB _{под}	HB пкг	+20°C
1	980	1420	12	34	413	409	413	409	363	359	415	32; 25
2	1010	1450	10	27	435	430	430	420	345	383	445	28; 29
3	1000	1440	10,5	28	426	420	420	415	337	385	435	26; 27
4	1020	1450	10	27	435	440	435	420	369	383	450	25; 26
5	970	1410	12,5	34	417	415	417	412	373	366	420	28; 34
6	960	1400	10,5	31	426	420	420	415	363	359	426	26; 28
7	970	1410	11,5	34	413	415	413	409	339	363	420	28; 30
8	980	1430	11	35	420	420	420	413	363	366	430	33; 32
9	980	1420	12	36	420	415	415	404	337	368	426	34; 33
10	990	1430	11,5	34	413	409	413	401	369	363	415	29; 33

Но- мер рель са	σ _T	σ _B	δ ₅	ψ	Твердость							Удар- ная вяз- кость КСУ, Дж/см ² при темпе- ратуре испы- тания
					НВ ₁₀	НВ _{10в} л	НВ _{10в} п	НВ ₂ 2	НВ _ш	НВ _{под}	НВ пкг	+20 ⁰ С
11	990	1430	12	33	409	409	409	395	363	359	409	26; 26

Примечание: НВпкг - твердость на поверхности катания головки рельса;

НВ10, НВ22 - твердость на расстоянии соответственно 10 и 22 мм от поверхности катания по вертикальной оси симметрии рельса;

5 НВ10вл, НВ10вп – твердость на расстоянии 10 мм соответственно от левой и правой выкружек;

НВш - твердость в шейке;

НВпод - твердость в подошве.

10 Испытание на копровую прочность пробы от всех рельсов выдержали без излома и признаков разрушения.

Предлагаемый способ изготовления рельсов позволил получить твердость на поверхности катания свыше 400 НВ, ударную вязкость более 15 Дж/см² при температуре испытания +20 °С, в сочетании с комплексом высоких значений механических свойств при удовлетворительной пер-
15 литной микроструктуре и копровой прочности, отвечающий требованиям к рельсам повышенной износостойкости и контактно-усталостной выносливости.

Формула изобретения

1. Способ изготовления железнодорожных рельсов повышенной износостойкости и контактно-усталостной выносливости, включающий нагрев заготовки под прокатку, многопроходные черновую и чистовую прокатки соответственно в дуо-реверсивных клетях и в универсальных клетях непрерывно-реверсивной группы, последующее дифференцированное охлаждение по головке и подошве рельса от температуры 720 – 870 °С до температуры 450 – 600 °С, отличающийся тем, что черновую прокатку проводят в температурном интервале 950 – 1100 °С с коэффициентом вытяжки за проход в пределах 1,12-1,30, а чистовую – в температурном интервале 850 – 1000 °С с коэффициентом вытяжки в универсальных калибрах в пределах 1,07-1,18, после чего проводят финишную прокатку в отдельно стоящей универсальной неревверсивной клети в температурном интервале 820–880°С с коэффициентом вытяжки в пределах 1,07-1,10.
2. Способ по п.1, отличающийся тем, что заготовка выполнена из стали, содержащей мас. %: 0,85-1,2 углерода, 0,2-1,25 марганца, 0,2-0,9 кремния, 0,001-0,06 ниобия, а также один или несколько элементов следующей группы мас.‰: 0,1-0,8 хрома, 0,05-0,6 никеля, 0,01-0,15 ванадия, 0,005-0,015 азота.
3. Сталь для изготовления железнодорожных рельсов, содержащая мас. %: 0,85-1,2 углерода, 0,2-1,25 марганца, 0,2-0,9 кремния, отличающаяся тем, что в состав дополнительно введено 0,001-0,06 мас.% ниобия.
4. Сталь по п. 3, отличающаяся тем, что в состав дополнительно введен один или несколько элементов следующей группы мас.‰: 0,1-0,8 хрома, 0,05-0,6 никеля, 0,01-0,15 ванадия, 0,005-0,015 азота.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/RU 2018/000584

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
B21B 1/085 (2006.01); C22C 38/12 (2006.01)

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

B21B 1/00-1/085, C21D 9/00-9/04, 8/00-8/12, C22C 38/12

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

PatSearch (RUPTO Internal), USPTO, PAJ, Espacenet, Information Retrieval System of FIPS

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	RU 2601847 C1 (OTKRYTOE AKTSIONERNOE OBSHESTVO "EVRAZ OBIEDINENNY ZAPADNO-SIBIRSKY METALLURGI-CHESKY KOMBINAT") 10.11.2016	1-4
A	RU 2409430 C1 (OTKRYTOE AKTSIONERNOE OBSHESTVO "NOVOKUZNETSKY METALLURGICHESKY KOMBINAT") 20.01.2011	1-4
A	RU 2575266 C1 (OBSHESTVO S OGRANICHENNOI OTVETSTVENNOSTJU "INNOVATSIONNYE METALLURGI-CHESKIE TEKHNologii") 20.02.2016	1-4
A	SU 219525 A (KUZNETSKY METALLURGICHESKY KOMBINAT et al.) 25.06.1970	1-4
A	US 8210019 B2 (NIPPON STEEL CORPORATION) 03.07.2012	1-4

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.
☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

29 April 2019 (29.04.2019)

Date of mailing of the international search report

06 June 2019 (06.06.2019)

Name and mailing address of the ISA/
RU

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

ОТЧЕТ О МЕЖДУНАРОДНОМ ПОИСКЕ

Номер международной заявки

PCT/RU 2018/000584

A. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРЕДМЕТА ИЗОБРЕТЕНИЯ <i>B21B 1/085 (2006.01)</i> <i>C22C 38/12 (2006.01)</i> Согласно Международной патентной классификации МПК		
B. ОБЛАСТЬ ПОИСКА Проверенный минимум документации (система классификации с индексами классификации) B21B 1/00-1/085, C21D 9/00-9/04, 8/00-8/12, C22C 38/12 Другая проверенная документация в той мере, в какой она включена в поисковые подборки Электронная база данных, использовавшаяся при поиске (название базы и, если, возможно, используемые поисковые термины) PatSearch (RUPTO Internal), USPTO, PAJ, Espacenet, Information Retrieval System of FIPS		
C. ДОКУМЕНТЫ, СЧИТАЮЩИЕСЯ РЕЛЕВАНТНЫМИ:		
Категория*	Цитируемые документы с указанием, где это возможно, релевантных частей	Относится к пункту №
A	RU 2601847 C1 (ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО "ЕВРАЗ ОБЪЕДИНЕННЫЙ ЗАПАДНО-СИБИРСКИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ") 10.11.2016	1-4
A	RU 2409430 C1 (ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО "НОВОКУЗНЕЦКИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ") 20.01.2011	1-4
A	RU 2575266 C1 (ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ "ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ") 20.02.2016	1-4
A	SU 219525 A (КУЗНЕЦКИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ и др.) 25.06.1970	1-4
A	US 8210019 B2 (NIPPON STEEL CORPORATION) 03.07.2012	1-4
☐ последующие документы указаны в продолжении графы C. ☐ данные о патентах-аналогах указаны в приложении		
* Особые категории ссылочных документов: "А" документ, определяющий общий уровень техники и не считающийся особо релевантным "Е" более ранняя заявка или патент, но опубликованная на дату международной подачи или после нее "L" документ, подвергающий сомнению притязание(я) на приоритет, или который приводится с целью установления даты публикации другого ссылочного документа, а также в других целях (как указано) "О" документ, относящийся к устному раскрытию, использованию, экспонированию и т.д. "Р" документ, опубликованный до даты международной подачи, но после даты испрашиваемого приоритета	"Т" более поздний документ, опубликованный после даты международной подачи или приоритета, но приведенный для понимания принципа или теории, на которых основывается изобретение "Х" документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска; заявленное изобретение не обладает новизной или изобретательским уровнем, в сравнении с документом, взятым в отдельности "У" документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска; заявленное изобретение не обладает изобретательским уровнем, когда документ взят в сочетании с одним или несколькими документами той же категории, такая комбинация документов очевидна для специалиста "&" документ, являющийся патентом-аналогом	
Дата действительного завершения международного поиска 29 апреля 2019 (29.04.2019)		Дата отправки настоящего отчета о международном поиске 06 июня 2019 (06.06.2019)
Наименование и адрес ISA/RU: Федеральный институт промышленной собственности, Бережковская наб., 30-1, Москва, Г-59, ГСП-3, Россия, 125993 Факс: (8-495) 531-63-18, (8-499) 243-33-37		Уполномоченное лицо: М. Козина Телефон № 8(495) 531-64-81