



УДК 621.373.826:621.78+620.18

DOI 10.17073/0368-0797-2025-2-124-130

Оригинальная статья
Original article

ОПЫТ ПРОИЗВОДСТВА РЕЛЬСОВ ИЗ БЕЙНИТНОЙ СТАЛИ МАРОК 30ХГ2С2АФМ И 30ХГ2САФН

А. М. Юнусов¹, Е. В. Полевой¹, Г. Н. Юнин¹, Т. Н. Осколкова² ¹ АО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат» (Россия, 654043, Кемеровская обл. – Кузбасс, Новокузнецк, шоссе Космическое, 16)² Сибирский государственный индустриальный университет (Россия, 654007, Кемеровская обл. – Кузбасс, Новокузнецк, ул. Кирова, 42)

oskolkovatiana@yandex.ru

Аннотация. Эксплуатационная стойкость железнодорожных рельсов определяется в основном сопротивлением возникновению дефектов контактной усталости и износостойкостью, и зависит, помимо характеристик воздействия колес подвижного состава, от химического состава, структуры и механических свойств рельсовой стали. В настоящее время пути повышения эксплуатационных свойств традиционных перлитных рельсов за счет увеличения дисперсности микроструктуры практически исчерпаны. Одним из решений для повышения срока службы рельсов может стать переход на производство их из сталей бейнитного класса, отличающихся более высокими механическими свойствами, стойкостью к образованию поверхностных контактно-усталостных дефектов и повышенной хладостойкостью. Проведенные в начале 2000-х годов за рубежом эксплуатационные испытания показали, что рельсы из бейнитной стали действительно обладают повышенной по сравнению с рельсами из стали перлитного класса сопротивляемостью к зарождению контактно-усталостных дефектов, однако подвержены более интенсивному износу. Был сделан вывод, что стойкость бейнитных рельсов к повреждениям головки поверхностными контактно-усталостными дефектами является следствием удаления поврежденного слоя поверхности катания в результате износа. В 2004 – 2006 гг. на АО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат» проведены исследования и выпуск опытной партии бейнитных рельсов, которые показали перспективность применения такой стали и возможность обеспечения одновременно повышенной износостойкости и низкотемпературной надежности. Однако в тот период комбинат не располагал в полной мере возможностями обеспечения высокого металлургического качества стали: выявленные недостатки связаны с недостаточной чистотой металла по неметаллическим включениям. В рамках возобновления работ по освоению рельсов бейнитного класса проведена выплавка, прокатка рельсов типа Р65 и охлаждение на спокойном воздухе двух опытных среднеуглеродистых сталей Б1 и Б2, отличающихся схемами легирования. Представленные результаты механических испытаний показали положительное влияние повышенного легирования хромом и никелем на механические свойства и структуру.

Ключевые слова: прокатка рельсов, бейнитная сталь, отпуск, микроструктура, ударная вязкость, стойкость к образованию контактно-усталостных дефектов, сканирующая электронная микроскопия

Для цитирования: Юнусов А.М., Полевой Е.В., Юнин Г.Н., Осколкова Т.Н. Опыт производства рельсов из бейнитной стали марок 30ХГ2С2АФМ и 30ХГ2САФН. *Известия вузов. Черная металлургия.* 2025;68(2):124–130.

<https://doi.org/10.17073/0368-0797-2025-2-124-130>

EXPERIENCE IN PRODUCING RAILS FROM BAINITIC STEELS 30KhG2S2AFM AND 30KhG2SAFN

А. М. Yunusov¹, Е. В. Polevoi¹, Г. Н. Yunin¹, Т. Н. Oskolkova² ¹ JSC EVRAZ United West Siberian Metallurgical Plant (16 Kosmicheskoe Route, Novokuznetsk, Kemerovo Region – Kuzbass 654007, Russian Federation)² Siberian State Industrial University (42 Kirova Str., Novokuznetsk, Kemerovo Region – Kuzbass 654007, Russian Federation)

oskolkovatiana@yandex.ru

Abstract. The operational resistance of railway rails is mainly determined by the resistance to contact fatigue defects and wear resistance, and, in addition to the impact characteristics of rolling stock wheels, depends on the chemical composition, structure and mechanical properties of rail steel. Currently, the ways to improve the operational properties of traditional pearlitic rails by increasing the microstructure dispersion are almost exhausted. One of the solutions to increase the service life of rails may be the transition to their production from bainitic steels, characterized by higher mechanical properties, resistance to the formation of surface contact and fatigue defects and increased cold resistance. Operational tests conducted abroad

in the early 2000s showed that rails made of bainitic steel do indeed have increased resistance to formation of contact fatigue defects compared to rails made of pearlitic steel, but they are subject to more intensive wear. It was concluded that the resistance of bainitic rails to head damage by surface contact and fatigue defects is a consequence of the removal of the damaged rolling surface layer as a result of wear. In 2004 – 2006, JSC EVRAZ United West Siberian Metallurgical Plant conducted research and produced an experimental batch of bainitic rails, which showed the promise of using such steel and the possibility of simultaneously providing increased wear resistance and low-temperature reliability. However, at that time, the plant did not have the full capabilities to ensure the high metallurgical quality of steel: the identified shortcomings are related to the insufficient purity of the metal for non-metallic inclusions. As part of the resumption of work on the development of bainitic rails, two experimental medium-carbon steels B1 and B2, differing in alloying schemes, were smelted, rolled onto rails of type P65 and cooled in calm air. The presented results of mechanical tests showed the positive effect of increased chromium and nickel alloying on mechanical properties and structure.

Keywords: rail rolling, bainitic steel, tempering, microstructure, impact strength, resistance to formation of contact fatigue defects, scanning electron microscopy

For citation: Yunusov A.M., Polevoi E.V., Yunin G.N., Oskolkova T.N. Experience in producing rails from bainitic steels 30KhG2S2AFM and 30KhG2SAFN. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2025;68(2):124–130. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2025-2-124-130>

ВВЕДЕНИЕ

Срок службы железнодорожных рельсов, как известно [1–3], определяется большим количеством технологических факторов и эксплуатационных свойств. Среди последних наиболее важными (по количеству изъятий дефектных и остродефектных рельсов) являются стойкость рельсового металла к развитию дефектов контактной усталости и износостойкость. Они, в свою очередь, во многом зависят от технологических параметров (химического состава, структуры, механических свойств рельсовой стали, загрязненности неметаллическими включениями, уровнем и распределением остаточных напряжений).

Традиционно [4] рельсовые стали содержат большое количество углерода (0,6 – 0,8 мас. %) и являются перлитными. Повышение износостойкости перлитных сталей достигается оптимизацией химического состава и режимов термической обработки, при которых обеспечивается уменьшение межпластинчатого расстояния цементитных пластин в пределах перлитной колонии, за счет чего повышаются прочностные, пластические свойства и твердость.

В структуре современных рельсов из сталей перлитного класса межпластинчатое расстояние приближается к своему предельному значению [5], теоретически оцениваемому на уровне 0,06 – 0,07 мкм. В связи с этим пути дальнейшего повышения эксплуатационной стойкости рельсов из сталей перлитного класса исчерпаны. Предполагается переход на производство рельсов из сталей бейнитного класса, отличающихся более дисперсным строением и, следовательно, более высокими механическими свойствами и стойкостью к образованию контактно-усталостных дефектов (КУД).

В конце 1990 – начале 2000-х годов институтами и предприятиями металлургической промышленности при поддержке железных дорог Западной Европы и США было создано несколько опытных марок бейнитной стали, пригодной для изготовления термообработанных рельсов [6 – 10].

Первые результаты эксплуатационных испытаний горячекатаных рельсов из стали В360 на перегоне

вблизи станции Фрик (Швейцария) (1999 г.) свидетельствуют, что рельсы из бейнитной стали действительно обладают повышенной сопротивляемостью к возникновению и развитию контактно-усталостных дефектов [8].

Однако рельсы из бейнитной стали некоторых марок характеризуются более интенсивным износом, чем широко применяемые в настоящее время термообработанные рельсы из стали перлитного класса. По данным работ исследовательского центра материалов и обработки (Корпорация НКК, Япония), износостойкость перлитных сталей определяется в основном твердостью и микроструктурными параметрами. В работах [10; 11] сделан вывод, что хорошая стойкость бейнитных рельсов к повреждениям КУД объясняется удалением поврежденного слоя вблизи поверхности контакта в результате износа (так называемый «эффект волшебного шлифования»).

Это говорит о том, что, прежде чем стать реальной альтернативой термообработанным перлитным рельсам, бейнитные рельсы должны пройти дополнительные исследования [7].

МАТЕРИАЛЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В проведенных АО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат» (ЕВРАЗ ЗСМК) в 2004 – 2006 гг. исследованиях установлено, что в рельсах из среднеуглеродистой стали, легированной хромом, молибденом, никелем и ванадием, возможно получение микроструктуры нижнего бейнита, которая применяется для ответственных изделий с высокой конструктивной прочностью [12; 13]. Результаты исследований опытных рельсов после прокатки, нормализации и отпуска показали перспективность применения такой стали и возможность обеспечения одновременно повышенных износостойкости и низкотемпературной надежности. Полигонные испытания опытной партии бейнитных рельсов производства АО «Новокузнецкий металлургический комбинат» из стали марки Э30ХГ2САФМ в 2005 г. показали перспективность их применения при дальнейшем повышении чистоты стали по неметаллическим вклю-

чениям. Однако в тот период комбинат не располагал в полной мере возможностями обеспечения высокого металлургического качества стали и прокатки на современном оборудовании. В связи с растущими требованиями к рельсам, которые эксплуатируются в особо тяжелых условиях Восточного полигона с преобладанием экстремально низких температур, необходимо (с учетом современных возможностей модернизированного рельсового производства) разработать химический состав стали бейнитного класса и определить схему производства рельсов из нее.

В 2022 г. на АО «ЕВРАЗ ЗСМК» возобновлена разработка технологии производства рельсов из бейнитной стали со свойствами, отвечающими современным условиям эксплуатации. Проведена выплавка двух опытных плавок усовершенствованного химического состава. Прокатка осуществлена в условиях рельсобалочного цеха по схеме, используемой на комбинате, с применением универсального стана тандем и отдельно стоящей чистовой клетки. Полное охлаждение опытных раскатов проводили на холодильнике пакетом, на спокойном воздухе без принудительной конвекции.

Проведены испытания двух среднеуглеродистых сталей, условно замаркированных Б1 и Б2. Сталь марки Б1 отличается повышенным содержанием молибдена и кремния, сталь марки Б2 – повышенным содержанием хрома и никеля (табл. 1). Для сравнения также приведен химический состав бейнитной стали марки Э30ХГ2САФМ, выплавленной в 2004 г. [13].

Химические составы опытных марок сталей имеют достаточно существенные отличия между собой по содержанию кремния, хрома, никеля и молибдена. При этом сталь марки Б1 отличается от стали

Э30ХГ2САФМ более высоким содержанием кремния, а также несколько повышенной концентрацией хрома и молибдена.

Для определения механических свойств рельсов проводили испытания на растяжение (цилиндрические образцы диаметром 6 мм с расчетной длиной 30 мм (тип III, ГОСТ 1497 – 84)), на ударный изгиб при +20 и –60 °С (ударные образцы на ударную вязкость с U-образным надрезом по I типу (ГОСТ 9454 – 78)). Твердость измеряли на поверхности катания и по сечению рельса.

Результаты механических испытаний (табл. 2) показывают, что рельсы из стали марки Б2, по сравнению с рельсами из стали марки Б1, обладают более высокими прочностными свойствами (предел текучести выше на 20 %, временное сопротивление – на 9,2 %), но более низким относительным удлинением (ниже на 27 %) при близких значениях относительного сужения.

При испытаниях при температуре +20 °С значения ударной вязкости этих двух марок сталей достаточно близки между собой, а при температуре –60 °С на стали марки Б2 получены более высокие значения (выше на 48 %). По результатам испытаний можно сделать вывод о положительном влиянии никеля на ударную вязкость при отрицательной температуре.

В отличие от рельсов из стали марки Э30ХГ2САФМ, рельсы из стали марки Б1 обладают более высокими прочностными свойствами (σ_T выше на 9,6 %, σ_B выше на 10,1 %), но при этом несколько пониженным (на 9,4 %) относительным удлинением при близких значениях относительного сужения. Следует отметить, что ударная вязкость рельсов из стали марки Б1 значительно выше, чем у рельсов из стали марки

Таблица 1. Химический состав исследуемых сталей

Table 1. Chemical composition of the studied steels

Сталь	Содержание элементов, мас. %					
	C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni
Б1	0,30 – 0,35	1,40 – 1,60	1,30 – 1,50	1,00 – 1,10	0,20 – 0,30	–
Б2	0,30 – 0,35	1,40 – 1,60	0,80 – 1,10	1,30 – 1,50	–	1,00 – 1,10
Э30ХГ2САФМ	0,32	1,48	1,21	1,00	0,20	0,07

Таблица 2. Механические свойства рельсов из бейнитной стали

Table 2. Mechanical properties of bainitic steel rails

Сталь	Механические свойства при растяжении				Ударная вязкость, KCU, Дж/см ²	
	σ_T , Н/мм ²	σ_B , Н/мм ²	δ , %	ψ , %	при +20 °С	при –60 °С
Б1	960 – 980	1390 – 1430	14,0 – 15,0	27 – 32	50 – 65	24 – 34
Б2	1150 – 1180	1510 – 1570	10,0 – 11,5	27 – 30	58 – 64	36 – 47
Э30ХГ2САФМ	880 – 890	1270 – 1290	15,0 – 17,0	25 – 33	32 – 37	11 – 17

Примечание. σ_T – предел текучести; σ_B – временное сопротивление; δ – относительное удлинение; ψ – относительное сужение; KCU – ударная вязкость.

Таблица 3. Твердость на поверхности катания головки и по сечению опытных рельсов

Table 3. Hardness on the head rolling surface and on the cross section of the experimental rails

Сталь	Твердость, НВ							
	головка					шейка	подошва	
	поверхность катания	10 мм от поверхности катания	выкружка левая	выкружка правая	22 мм от поверхности катания		перо 1	перо 2
Б1	394 – 399	392 – 398	380 – 395	392 – 396	380 – 384	376 – 387	414 – 426	418 – 422
Б2	444 – 462	440 – 448	454 – 458	446 – 450	418 – 421	410 – 420	508 – 520	510 – 516
Э30ХГ2САФМ	375	375	–	–	363	363	388	388

Э30ХГ2САФМ, что связано с более высокими чистой стали по примесным элементам, неметаллическим включениям и степенью проработки структуры на универсальном рельсoproкатном стане.

Результаты измерения твердости по сечению опытных рельсов представлены в табл. 3.

Рельсы из стали марки Б2 обладают в целом более высокой твердостью по сравнению с металлом рельсов из стали марки Б1, что связано с различной степенью легирования. Также стоит отметить достаточно высокую твердость в перьях подошвы рельсов из обеих марок сталей, что связано с повышенной скоростью охлаждения данных участков профиля ввиду более тонкого их сечения. Аналогичная разность по твердости наблюдалась и при испытаниях рельсов из стали марки Э30ХГ2САФМ.

Исследования микроструктуры на оптическом микроскопе Olympus GX71 показали, что в металле головки рельса из стали Б2 присутствуют участки структурной неоднородности, вызванной неравномерностью пластической деформации при прокатке, в виде чередующихся зон, обогащенных углеродом, с зонами,

обедненными углеродом. В связи с этим при охлаждении рельсов с прокатного нагрева в участках, обогащенных углеродом, произошло мартенситное превращение, а в участках, обедненных углеродом, – образовался бейнит (рис. 1). Комплекс механических свойств (высокие прочность, пластичность и вязкость) обусловлен образованием данной смешанной структуры. По мере увеличения глубины от поверхности выкружки доля бейнитной составляющей в структуре увеличивается, что связано с различными скоростями охлаждения по сечению головки.

Микроструктура подошвы рельса из стали Б2 у ее основания и перьев преимущественно состоит из мартенсита (рис. 2). Образование мартенситной структуры обусловлено повышенной скоростью охлаждения данного участка профиля в условиях спокойного воздуха ввиду более тонкого сечения по сравнению с головкой.

Микроструктура металла головки рельса из стали марки Б1 показана на рис. 3. Вблизи поверхности выкружки частично наблюдается обезуглероженный слой, видны мелкие зерна полигонального феррита. Структура преимущественно состоит из нижнего бей-

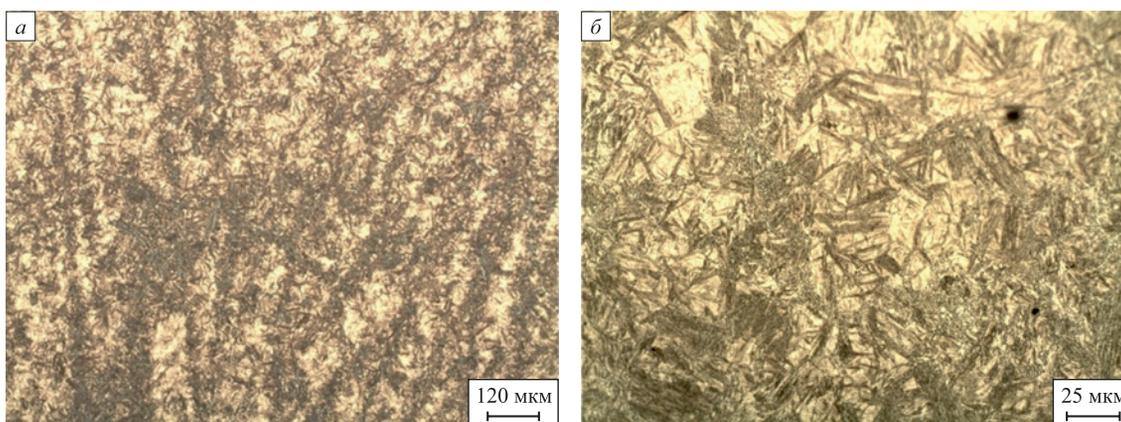


Рис. 1. Микроструктура головки рельса из стали Б2:

а – структурная неоднородность на глубине около 2 мм (участки бейнита нижнего (темные), участки мартенсита (светлые));
 б – микроструктура на глубине до 10 мм от поверхности катания головки

Fig. 1. Microstructure of B2 steel rail head:

а – structural heterogeneity at a depth of about 2 mm (sections of lower bainite (dark), sections of martensite (light));
 б – microstructure at a depth of up to 10 mm from the head rolling surface

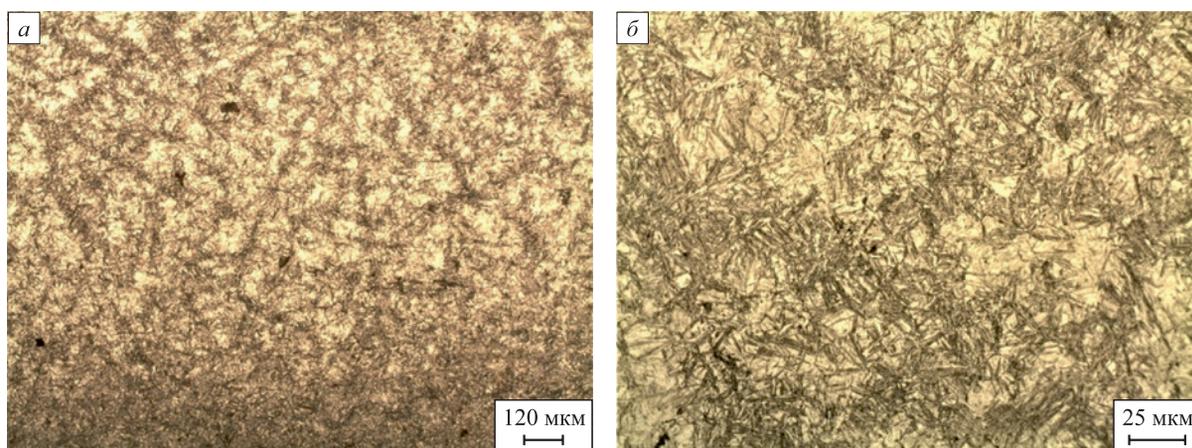


Рис. 2. Микроструктура подошвы рельса из стали Б2:
а – мартенсит в основании подошвы; *б* – мартенсит в перьях

Fig. 2. Microstructure of B2 steel rail foot:
a – martensite at foot base; *b* – martensite in foot fillets

нита, имеющего игольчатое строение. По мере удаления от поверхности в структуре появляются участки верхнего бейнита, имеющего перистое строение из чередующихся разорванных пластин феррита и цемента. На глубине свыше 20 мм структура практически полностью представлена верхним бейнитом.

Микроструктура металла подошвы и перьев представлена на рис. 4. В структуре металла подошвы присутствуют нижний и верхний бейнит (рис. 4, *а*), в структуре перьев – нижний бейнит с участками мартенсита (рис. 4, *б*).

Согласно данным работ [14 – 17] для рельсов из сталей бейнитного класса наиболее благоприятной считается сталь со смешанной структурой из нижнего бейнита и реечного мартенсита. Это объясняется тем, что при превращении аустенита в нижний бейнит остаточный аустенит разделяется рейками нижнего бейнита

на тонкие сегменты. При последующем мартенситном превращении внутри этих тонких сегментов формируется очень тонкая структура реечного мартенсита, а чем дисперснее структура, тем выше прочность и вязкость стали. Такие стали имеют высокие пластичность и вязкость разрушения. Скорость износа рельсов из таких сталей с увеличением контактных напряжений возрастает в меньшей степени, чем скорость износа рельсов из перлитных сталей [10; 17 – 19].

Результаты проведенного исследования позволяют считать, что сталь Б2 можно использовать для производства рельсов, охлажденных после прокатки на спокойном воздухе. Для повышения технологичности, в частности, улучшения условий правки и снижения микронапряжений, рекомендовано опробовать уменьшение содержания в стали углерода до 0,28 – 0,30 % при сохранении содержания остальных элементов.

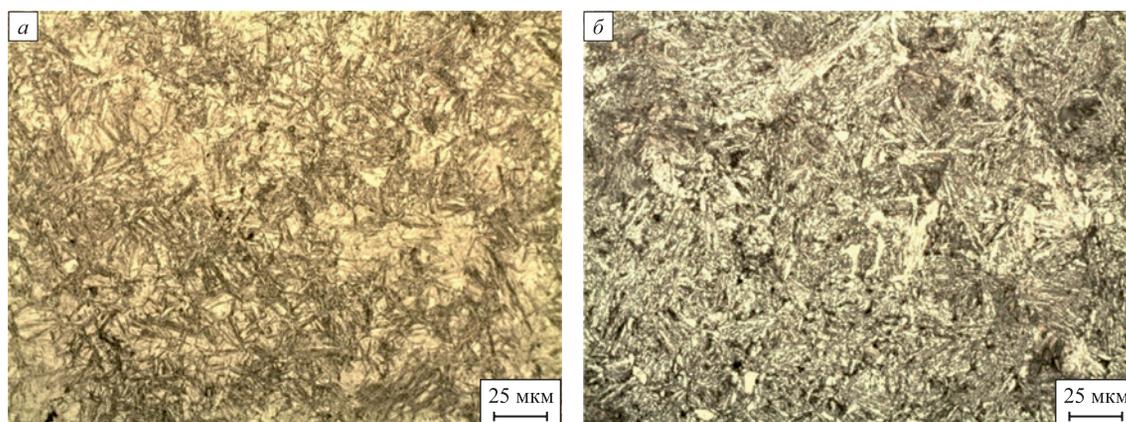


Рис. 3. Микроструктура головки рельса из стали марки Б1:
а – нижний бейнит и мелкие зерна полигонального феррита вблизи поверхности выкружки;
б – микроструктура на глубине около 20 мм (преимущественно верхний бейнит)

Fig. 3. Microstructure of B1 steel rail head:

a – lower bainite and small grains of polygonal ferrite near the fillet surface; *b* – microstructure at a depth of about 20 mm (mainly upper bainite)

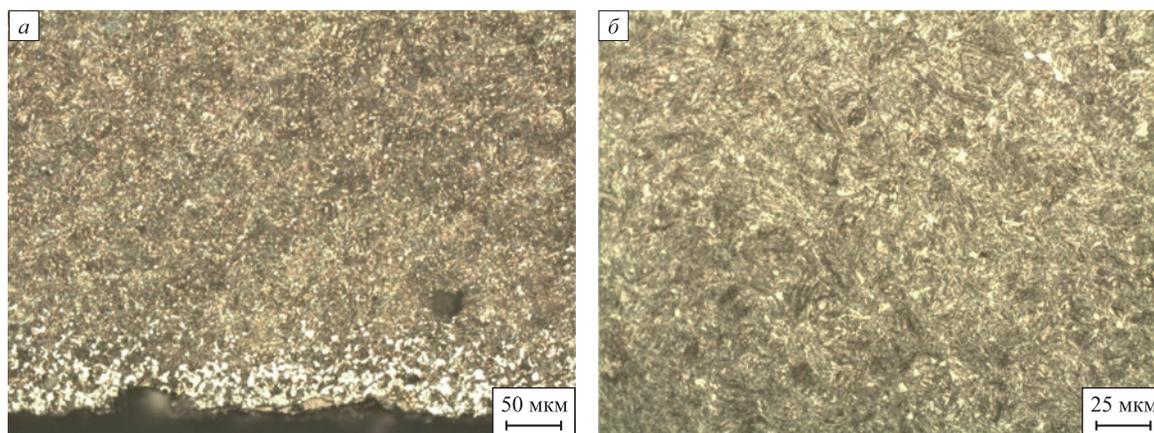


Рис. 4. Микроструктура подошвы и перьев рельса:
 а – обезуглероженный слой, бейнит вблизи основания подошвы;
 б – нижний бейнит, участки мартенсита (темные участки игольчатой структуры) в перьях

Fig. 4. Microstructure of the foot and foot fillets of rail:

а – decarbonized layer, bainite near the foot base; б – lower bainite, areas of martensite (dark areas of needle-like structure) in the foot fillets

Выводы

Сравнительная оценка металла горячекатаных рельсов из сталей опытных составов Б1 и Б2 показала, что повышенное легирование хромом в пределах 1,2 – 1,5 % и никелем в пределах 1,0 – 1,1 % приводит к повышению предела текучести на 20 %, временного сопротивления на 9,2 % и ударной вязкости при температуре испытания –60 °С на 48 % по сравнению со схемой легирования молибденом с содержанием 0,20 – 0,30 %.

Проведена оценка микроструктуры рельсов двух опытных составов, показавшая получение игольчатых структур верхнего и нижнего бейнита, образовавшихся при непрерывном охлаждении на спокойном воздухе, в рельсах из обеих сталей, а также повышенного количества участков мартенсита в головке рельсов из стали Б2, что повлияло на получение более высоких прочностных свойств и твердости.

Для дальнейшего освоения и с целью получения более стабильной структуры, состоящей из нижнего бейнита, рекомендовано выбрать за основу сталь марки Б2 с одновременным снижением содержания углерода до 0,25 – 0,30 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Шур Е.А. Повреждения рельсов. Москва: Интекст; 2012:192.
- Павлов В.В., Годик Л.А., Корнева Л.В., Козырев Н.А., Гизатулин Р.А. Производство рельсов повышенной износостойкости. *Известия вузов. Черная металлургия*. 2007; 50(10):35–37.
Pavlov V.V., Godik L.A., Korneva L.V., Kozyrev N.A., Gizatulin R.A. Production of rails with increased wear resistance. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2007;50(10):35–37. (In Russ.).
- Ермаков В.М. О некоторых вопросах ведения рельсового хозяйства. В кн.: *Улучшение качества и усло-*
- вий эксплуатации рельсов и рельсовых скреплений (по материалам заседания некоммерческого партнерства «Рельсовая комиссия» 7–9 октября 2014 г.): Сборник научных докладов.* Санкт-Петербург: ОАО «УИМ»; 2015:137–148.
- Перспективные технологии тепловой и термической обработки в производстве рельсов / В.В. Павлов, М.В. Темлянец, Л.В. Корнева, А.Ю. Сюсюкин. Москва: Теплотехник; 2007:280.
- Корнева Л.В., Юнин Г.Н., Козырев Н.А., Атконова О.П., Полевой Е.В. Сравнительный анализ показателей качества рельсов ОАО «Новокузнецкий металлургический комбинат» и зарубежных производителей. *Известия вузов. Черная металлургия*. 2010;53(12):38–42.
Korneva L.V., Yunin G.N., Kozyrev N.A., Atkonova O.P., Polevoi E.V. Comparative analysis of quality indicators of rails of JSC Novokuznetsk Metallurgical Plant and foreign manufacturers. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2010;53(12):38–42. (In Russ.).
- Hlavatý I., Sigmund M., Krejčí L., Mohyla P. The bainitic steels for rails applications. *Materials Science Engineering*. 2009;16(4):44–50.
- Рельсовая сталь – эволюция и перспективы. *Железные дороги мира*. 2008;(5):59–64.
Rail steel – evolution and prospects. *Zheleznye dorogi mira*. 2008;(5):59–64. (In Russ.).
- Рельсы из бейнитной стали на железных дорогах Швейцарии. *Железные дороги мира*. 2011;(5):71–75.
Bainitic steel rails on Swiss railways. *Zheleznye dorogi mira*. 2011;(5):71–75. (In Russ.).
- Pacyna J. The microstructure and properties of the new bainitic rail steels. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. 2008;28(1):19–22.
- Yokoyama H., Mitao S., Yamamoto S., Kataoka Y., Sugiyama T. High strength bainitic steel rails for heavy haul railways with superior damage resistance. *NKK Technical Review*. 2001;(84):44–51.
- Yokoyama H., Mitao S., Yamamoto S., Fujikake M. Effect of the angle of attack on flaking behavior in pearlitic and

- bainitic steel rails. *Wear*. 2002;253(1-2):60–66.
[https://doi.org/10.1016/S0043-1648\(02\)00083-2](https://doi.org/10.1016/S0043-1648(02)00083-2)
12. Павлов В.В., Годик Л.А., Корнева Л.В., Козырев Н.А., Кузнецов Е.П. Железнодорожные рельсы из бейнитной стали. *Металлург*. 2007;(4):51–53.
 Pavlov V.V., Godik L.A., Korneva L.V., Kozyrev N.A., Kuznetsov E.P. The railway rails from bainite steel. *Metal-lurg*. 2007;(4):51–53. (In Russ.).
 13. Корнева Л.В., Осколкова Т.Н. Структура рельсов из стали бейнитного класса. *Известия вузов. Черная металлургия*. 2006;49(12):26–27.
 Korneva L.V., Oskolkova T.N. Structure of bainitic steel rails. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2006;49(12):26–27. (In Russ.).
 14. Добужская А.Б., Галицын Г.А., Смирнов Л.А., Юнин Г.Н., Кошкарров Д.А., Киричков А.А., Павлов В.В., Полевой Е.В., Белокурова Е.В. Перспективы производства рельсов из бейнитной стали. *Сталь*. 2023;(2):41–46.
 Dobuzhskaya A.B., Galitsyn G.A., Smirnov L.A., Yunin G.N., Koshkarov D.A., Kirichkov A.A., Pavlov V.V., Polevoi E.V., Belokurova E.V. Outlook for manufacture of rails of bainitic steel. *Stal'*. 2023;(2):41–46.
 15. Zajac S., Schwinn V., Tacke K.-H. Characterisation and quantification of complex bainitic microstructures in high and ultra-high strength linepipe steels. *Materials Science Forum*. 2005;500-501:387–394.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.500-501.387>
 16. Qiu J., Zhang M., Tan Z., Gao G., Bai B. Research on the microstructures and mechanical properties of bainite/martensite rail treated by the controlled-cooling process. *Materials*. 2019;12(19):3061.
<https://doi.org/10.3390/ma12193061>
 17. Adamczyk-Cieślak B., Koralnik M., Kuziak R., Majchrowicz K., Mizera J. Studies of bainitic steel for rail applications based on carbide-free, low-alloy steel. *Metallurgical and Materials Transactions*. 2021;52:5429–5442.
<https://doi.org/10.1007/s11661-021-06480-6>
 18. Wiedorn J., Kammerhofer C., Scheriau S. 340 Dobain HSH – Schienenwerkstoff gegen Head Checks. *FAHRWEG*. 2021;31–35. (In Germ.).
 19. Girsch G., Heyder R. Advanced pearlitic and bainitic high rails promise to improve rolling contact fatigue resistance. In: *Proceedings of 7th World Congress on Railway Research*. 2006;43–51.

Сведения об авторах

Information about the Authors

Анатолий Майдарисович Юнусов, начальник отдела научно-исследовательских разработок научно-исследовательского центра, АО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат»

E-mail: Anatoly.Yunusov@evraz.com

Егор Владимирович Полевой, к.т.н., начальник научно-исследовательского центра, АО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат»

E-mail: egor.polevoj@evraz.com

Геннадий Николаевич Юнин, советник по технологии производства рельсового проката, АО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат»

E-mail: Gennady.Yunin@evraz.com

Татьяна Николаевна Осколкова, д.т.н., профессор кафедры металлургии черных металлов и химической технологии, Сибирский государственный индустриальный университет

ORCID: 0000-0003-1310-1284

E-mail: oskolkovatiana@yandex.ru

Anatolii M. Yunusov, Head of the Research and Development Department of the Research Center, JSC EVRAZ United West Siberian Metallurgical Plant

E-mail: Anatoly.Yunusov@evraz.com

Egor V. Polevoi, Cand. Sci. (Eng.), Head of the Research Center, JSC EVRAZ United West Siberian Metallurgical Plant

E-mail: egor.polevoj@evraz.com

Gennadii N. Yunin, Advisor on the Technology of Production of Rolled Rails, JSC EVRAZ United West Siberian Metallurgical Plant

E-mail: Gennady.Yunin@evraz.com

Tat'yana N. Oskolkova, Dr. Sci. (Eng.), Prof. of the Chair of Ferrous Metallurgy and Chemical Technology, Siberian State Industrial University

ORCID: 0000-0003-1310-1284

E-mail: oskolkovatiana@yandex.ru

Вклад авторов

Contribution of the Authors

А. М. Юнусов – организация и контроль проведения опытной прокатки, сбор и анализ данных по этапам производства, проведение лабораторного исследования опытного металла, подготовка отчета.

Е. В. Полевой – анализ и внесение предложений по разработке опытных химических составов бейнитным марок сталей, руководство при проведении научно-исследовательской работы.

Г. Н. Юнин – подготовка рекомендаций по производству, организация работ по выплавке и прокатке опытных рельсов.

Т. Н. Осколкова – проведение консультационных работ по подготовке к производству опытных рельсов, помощь в формировании статьи.

A. M. Yunusov – organization and control of experimental rolling, collection and analysis of data on production stages, laboratory research, report preparation.

E. V. Polevoi – analysis and proposals for the development of experimental chemical compositions of bainitic steels, management of research work.

G. N. Yunin – preparation of recommendations for production, organization of work on smelting and rolling of experimental rails.

T. N. Oskolkova – consulting work on preparation for production of experimental rails, assistance in the article formation.

Поступила в редакцию 03.06.2024

После доработки 20.10.2024

Принята к публикации 27.01.2025

Received 03.06.2024

Revised 20.10.2024

Accepted 27.01.2025