



УДК 669.017.16:669.018.294.2

DOI 10.17073/0368-0797-2025-6-556-562



Оригинальная статья

Original article

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ ЗАЭВТЕКТОИДНОГО СОСТАВА

О. В. Бессонова¹, Е. В. Полевой¹, Т. Н. Осколкова²✉, Т. А. Комарова¹

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)

✉ oskolkova@kuz.ru

Аннотация. В связи с постоянным увеличением осевых нагрузок и массы подвижных составов, предназначенных для пассажирского и грузового тяжеловесного движения, выдвигаются более жесткие требования со стороны потребителей рельсовой продукции. Используемые в настоящее время для промышленного производства рельсов углеродистые стали перлитного класса обладают высокими показателями потребительских свойств, а именно, стойкостью к износу, образованию контактно-усталостных дефектов, что позволяет обеспечить работоспособность в широком диапазоне эксплуатационных и климатических условий на всей протяженности сети железных дорог. Важной технической задачей является установление закономерностей формирования микроструктуры рельсов в зависимости от химического состава стали и влияния структуры на свойства готовой продукции. Одним из основных параметров, определяющих структуру и потребительские свойства железнодорожных рельсов из перлитной стали, является величина межпластиначатого расстояния. Повышение эксплуатационной стойкости рельсов – одна из основных задач специалистов АО «ЕВРАЗ ЗСМК» – металлургического завода Кузбасса, входящего в пятерку крупнейших в мире производителей железнодорожных рельсов. В результате проведенных исследований представлены результаты сравнительного анализа химического состава, величины межпластиначатого расстояния, а также прочностных и пластических свойств металла железнодорожных рельсов перлитного класса. В соответствии с ГОСТ Р 51685 – 2022 сталь марки 90ХАФ по содержанию углерода является заэвтектоидной. В результате проведенных исследований установлены связи между параметрами структуры и физико-механическими свойствами рельсов, а также между содержанием основных химических элементов в стали и межпластиначатым расстоянием перлита.

Ключевые слова: химический состав, механические свойства, твердость, микроструктура рельсов, параметры микроструктуры, межпластиначатое расстояние, дифференцированно термоупрочненные рельсы

Для цитирования: Бессонова О.В., Полевой Е.В., Осколкова Т.Н., Комарова Т.А. Сравнительный анализ структуры и свойств железнодорожных рельсов заэвтектоидного состава. *Известия вузов. Черная металлургия.* 2025;68(6):556–562.

<https://doi.org/10.17073/0368-0797-2025-6-556-562>

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF HYPEREUTECTOID RAILWAY RAILS

О. В. Бессонова¹, Е. В. Полевой¹, Т. Н. Осколкова²✉, Т. А. Комарова¹

¹ JSC EVRAZ – United West Siberian Metallurgical Plant (16 Kosmicheskoe Route, Novokuznetsk, Kemerovo Region – Kuzbass 654043, Russian Federation)

² Siberian State Industrial University (42 Kirova Str., Novokuznetsk, Kemerovo Region – Kuzbass 654007, Russian Federation)

✉ oskolkova@kuz.ru

Abstract. Due to the constant increase in axial loads and the weight of rolling stock intended for passenger and freight heavy traffic, more stringent requirements are being put forward by consumers of rail products. The pearlite-grade carbon steels currently used for the industrial production of rails have high consumer properties, namely, resistance to wear and the formation of contact and fatigue defects, which makes it possible to ensure operability in a wide range of operational and climatic conditions along the entire length of the railway network. An important technical task is to establish the patterns of formation of the microstructure of rails depending on the chemical composition of steel and influence of the structure on properties of the finished products. One of the main parameters determining the structure and consumer properties of pearlite

steel railway rails is the size of the interlamellar spacing. Improving the operational stability of rails is one of the main tasks of the specialists of JSC EVRAZ ZSMK, the Kuzbass Metallurgical Plant, one of the five largest manufacturers of railway rails in the world. The results of a comparative analysis of chemical composition, size of the interlamellar spacing, as well as the strength and plastic properties of the metal of pearlite-class railway rails are presented. In accordance with GOST R 51685-2022, 90KhAF steel is hypereutectoid in terms of carbon content. As a result of the conducted research, the relationships between parameters of the structure and the physico-mechanical properties of rails, as well as between content of the main chemical elements in steel and the interlamellar spacing of perlite, were established.

Keywords: chemical composition, mechanical properties, hardness, rail microstructure, microstructure parameters, interlamellar spacing, differentially heat-treated rails

For citation: Bessonova O.V., Polevoi E.V., Oskolkova T.N., Komarova T.A. Comparative analysis of the structure and properties of hypereutectoid railway rails. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2025;68(6):556–562. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2025-6-556-562>

ВВЕДЕНИЕ

Со стороны потребителей рельсовой продукции выдвигаются требования по увеличению сроков межремонтной наработки, повышению долговечности и надежности рельсов как основного и наиболее нагруженного элемента верхнего строения пути. Эксплуатационная стойкость рельсов в значительной степени определяется структурно-фазовым состоянием стали, в связи с чем важной технической задачей является установление закономерностей формирования микроструктуры рельсов в зависимости от ее химического состава и влияния структуры на свойства готовой продукции.

По результатам многочисленных исследований [1 – 3] выявлены основные закономерности влияния микроструктуры на эксплуатационную стойкость рельсов. В настоящее время в мире наиболее распространены рельсы из высокоуглеродистой стали перлитного класса, в которой в результате ускоренного охлаждения формируется структура дисперсной пластинчатой феррито-карбидной смеси (перлита), обеспечивающей высокие значения твердости, прочностных и пластических свойств, ударной вязкости, трещиностойкости, контактно-усталостной прочности и износостойкости [4 – 6]. Одним из основных параметров, определяющих структуру и потребительские свойства железнодорожных рельсов из перлитной стали, является величина межпластинчатого расстояния (МПР) – сумма толщин ферритной и цементитной пластинок, которые формируются в рельсах после прокатки и дифференцированной термообработки [7 – 9]. Однако этот вопрос до сих пор остается недостаточно изученным [10 – 12]. В связи с изложенным оценка данного структурного параметра необходима при разработке составов стали, режимов термоупрочнения и температурно-деформационных режимов прокатки, обеспечивающих получение требуемых показателей качества металлоизделий.

В настоящей работе представлены результаты сравнительного анализа химического состава, величины межпластинчатого расстояния, а также прочностных и пластических свойств металла железнодорожных рельсов типа Р65 производства АО «ЕВРАЗ Объеди-

ненный Западно-Сибирский металлургический комбинат» (АО «ЕВРАЗ ЗСМК») [13].

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объекта исследования использовали железнодорожные дифференцированно термоупрочненные с остаточного тепла предпрокатного нагрева рельсы типа Р65, по содержанию углерода сталь марки 90ХАФ по ГОСТ Р 51685 – 2022 является заэвтектоидной.

С целью исследования качества металла рельсов проведены испытания на растяжение (в соответствии с ГОСТ 1497 – 2023 на испытательной универсальной машине Z-250), испытания на ударный изгиб (в соответствии с ГОСТ 9454 – 78 на копре маятниковом RKP-450) и измерения твердости на поверхности катания головки (в соответствии с ГОСТ 9012 – 59 на твердомере универсальном NEMESIS 9503).

Исследования и измерения параметров микроструктуры проводили на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) Tescan MIRA3. Оценку межпластинчатого расстояния и диаметра зерна проводили на поперечных шлифах, изготовленных из зоны выкружки после электрополировки и травления в 4 %-ном спиртовом растворе азотной кислоты.

Исследуемая зона для измерения МПР находилась на расстоянии 2 – 4 мм от поверхности катания головки рельса. Выбор указанного места исследования обусловлен реализацией в этом участке максимальных контактных напряжений от взаимодействия с колесами подвижного состава при эксплуатации. В соответствии с методикой работы [14] измерения межпластинчатого расстояния проводили в перлитных колониях с явно выраженным параллельным расположением пластинок, независимо от расстояний между ними (видимое МПР), с дальнейшей обработкой полученных данных с учетом показателя асимметрии и вычислением среднего значения истинного МПР. Не измеряли расстояния между пластинками с явными следами деформации (разрушенные, ломаные и существенно изогнутые).

Диаметр зерна в металле рельсов исследуемых составов определяли у поверхности выкружки (метод выявления – по сетке феррита или цементита в соот-

Таблица 1. Химический состав металла исследуемых рельсов

Table 1. Chemical composition of the studied rails metal

Состав	Содержание элементов, мас. %				$(C + Cr)$, %
	C	Cr	V	Mo	
1	0,87	0,30	0,08	0,006	1,17
2	0,94	0,27	0,09	0,006	1,22
3	0,91	0,34	0,09	0,006	1,24
4	0,93	0,34	0,10	0,018	1,27
5	0,91	0,34	0,04	0,010	1,25
Требования ГОСТ Р 51685 – 2022 для стали марки 90ХАФ	0,85 – 0,94	0,20 – 0,60	0,03 – 0,15	–	–

ветствии с ГОСТ 5639 – 82 «Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна»).

Результаты исследований

Химический анализ рельсов исследуемых составов, условно маркированных 1 – 5, представлен в табл. 1. Нагрев, прокатку и термическую обработку рельсов проводили по одинаковым температурно-временным технологическим режимам. Для каждого состава были отобраны и сгруппированы плавки, отличающиеся по содержанию углерода, хрома, ванадия и молибдена. Содержание остальных химических элементов не имеет существенных различий между плавками, соответствует требованиям ГОСТ Р 51685 – 2022 и в данном анализе не представлено.

Из приведенных данных следует, что все представленные составы по содержанию углерода, хрома и ванадия удовлетворяют требованиям ГОСТ Р 51685 – 2022. Дополнительное микролегирование стали молибденом допускается и не регламентируется стандартом. Сравнительный анализ химических составов показал, что наименьшее содержание углерода определено в рельсовом металле состава 1, наибольшее – в металле состава 2, промежуточные значения по содержанию углерода – в металле составов 3 – 5. При этом содержание ванадия находится на сопоставимом уровне, за исключением состава 5, значение содержания ванадия в котором на 0,04 – 0,06 % ниже остальных. Также следует отметить, что рельсовый металл составов 4 и 5 отличается повышенным содержанием молибдена в среднем на 0,012 и 0,004 % соответственно. Наименьшее содержание хрома выявлено в металле составов 1 и 2, составы 3 – 5 отличаются от первых двух несколько повышенными значениями по хрому: в среднем на 0,04 – 0,07 %.

Известно [15; 16], что карбидообразующие элементы значительно изменяют кинетику распада аустенита и, соответственно, вид диаграммы изотермического превращения, на которой появляется четкое разделение перлитного и бейнитного превращений и промежуточная область повышенной устойчивости

аустенита. В работах [17 – 19] установлено, что при легировании хромом стали с перлитной структурой происходит твердорастворное упрочнение феррита, легирование цементита хромом с образованием соединения $(Fe, Cr)_3C$ и, возможно, образование карбидов хрома. Авторами работы [20] проведен анализ условий формирования перлитной структуры при термоупрочнении рельсов и установлена связь суммарного содержания углерода и хрома $((C + Cr), \%)$, температуры перлитного превращения и межпластиначатого расстояния перлита в сталях исследуемых составов (табл. 1). Определены зависимости изменения прочностных и пластических свойств от содержания углерода и хрома, суммарное значение которых должно быть выше 1,2 %, что способствует увеличению дисперсности структуры перлита и обеспечению оптимального сочетания прочностных и пластических характеристик. В металле исследуемых составов суммарное содержание углерода и хрома находится на сопоставимом уровне и превышает значение 1,2 % (за исключением состава 1 (1,17 %)), что также подтверждается получением достаточно высоких значений прочностных характеристик при сохранении высокой пластичности металла (табл. 2).

Результаты испытаний показали, что по механическим свойствам при растяжении, ударной вязкости, а также твердости на поверхности катания головки металлов исследуемых составов значительно превышает требования стандарта для рельсов заэвтектоидного состава, предназначенных для производства рельсов категорий ДТ370ИК и ДТ400ИК. Следует отметить, что при одновременном увеличении содержания углерода, хрома и ванадия (сплав 3) наблюдается наилучшее сочетание прочностных и пластических свойств, а также ударной вязкости. При этом значение твердости, измеренное на поверхности катания головки рельса из сплава 3, повышается незначительно относительно сплава 1 с наименьшим содержанием углерода и указанных выше элементов. При увеличении содержания молибдена (в три раза) в сплаве 4 наблюдается значительное увеличение ударной вязкости, а также увеличение

Таблица 2. Механические свойства и твердость

Table 2. Mechanical properties and hardness

Состав	Механические свойства при растяжении				KCU (+20 °C), Дж/см ²	Твердость на поверхности катания головки, НВ
	σ_t , Н/мм ²	σ_b , Н/мм ²	δ , %	ψ , %		
1	920	1370	10,5	27	26,5	393
2	980	1430	10,5	31	26,0	412
3	1030	1450	10,5	29	25,0	409
4	1028	1480	11,0	24	30,0	424
5	1049	1447	9,0	22	21,5	420
Требования ГОСТ Р 51685 – 2022 для рельсов категории	ДТ370ИК	не менее				370 – 415
	ДТ400ИК	870	1280	8,0	14,0	15
			1300			400 – 455

ние прочностных и пластических характеристик относительно остальных исследуемых сплавов. Следует отметить, что при снижении содержаний ванадия и молибдена в экспериментальном сплаве 5 значительно снижаются значения ударной вязкости и пластических характеристик металла при сохранении прочностных характеристик и твердости на поверхности катания головки готового рельсового проката.

Исследуемая рельсовая сталь после прокатки и дифференцированной термической обработки имеет перлитную структуру преимущественно с пластинами перлита регулярного строения (рис. 1).

Также встречается значительное количество деформированных колоний перлита с ломанными и «волнистыми» пластинами, а также участки с переплетением перлитных колоний (рис. 2).

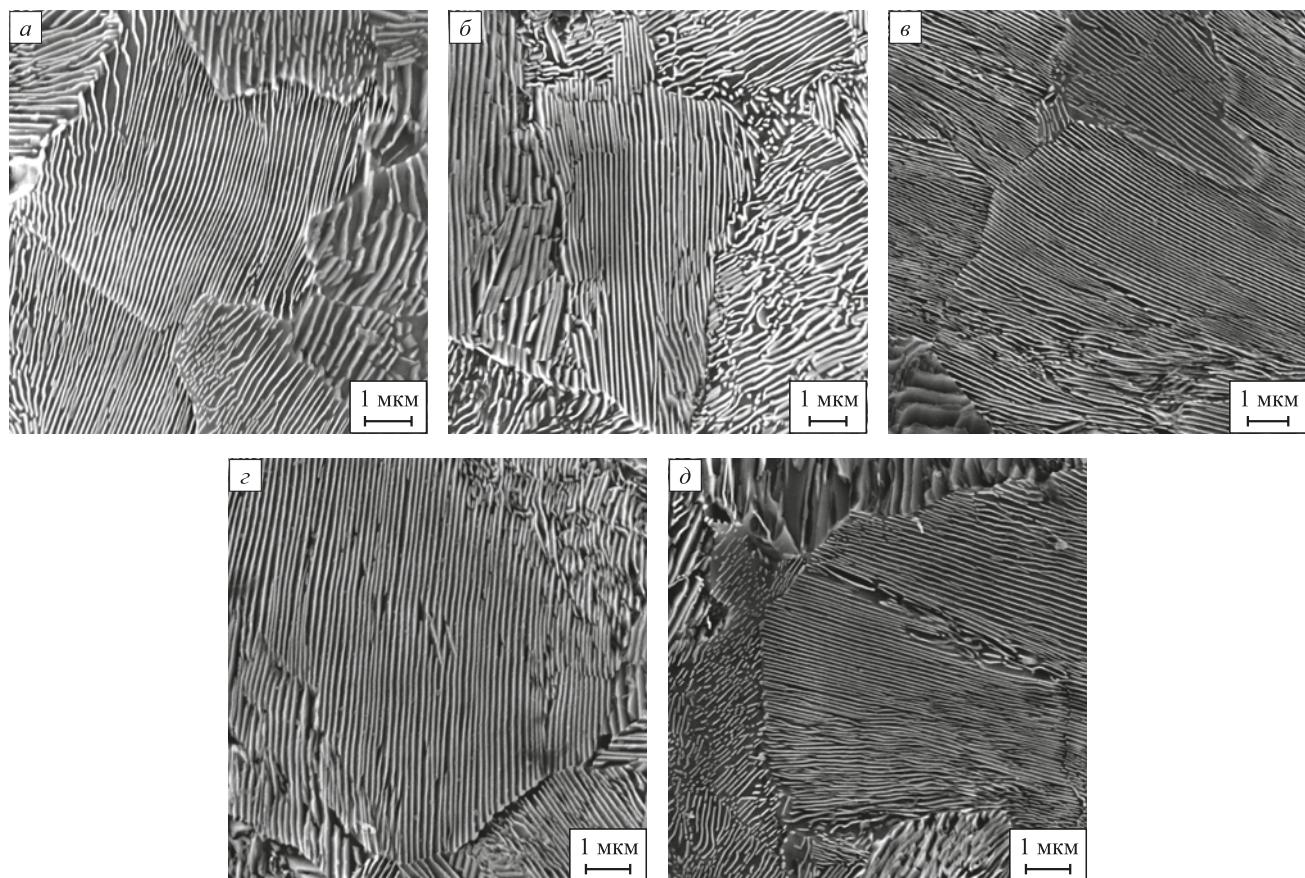


Рис. 1. Микроструктура металла исследуемых рельсов составов 1–5 (а–д)

Fig. 1. Microstructure of the studied rails metal of compositions 1–5 (a–d)

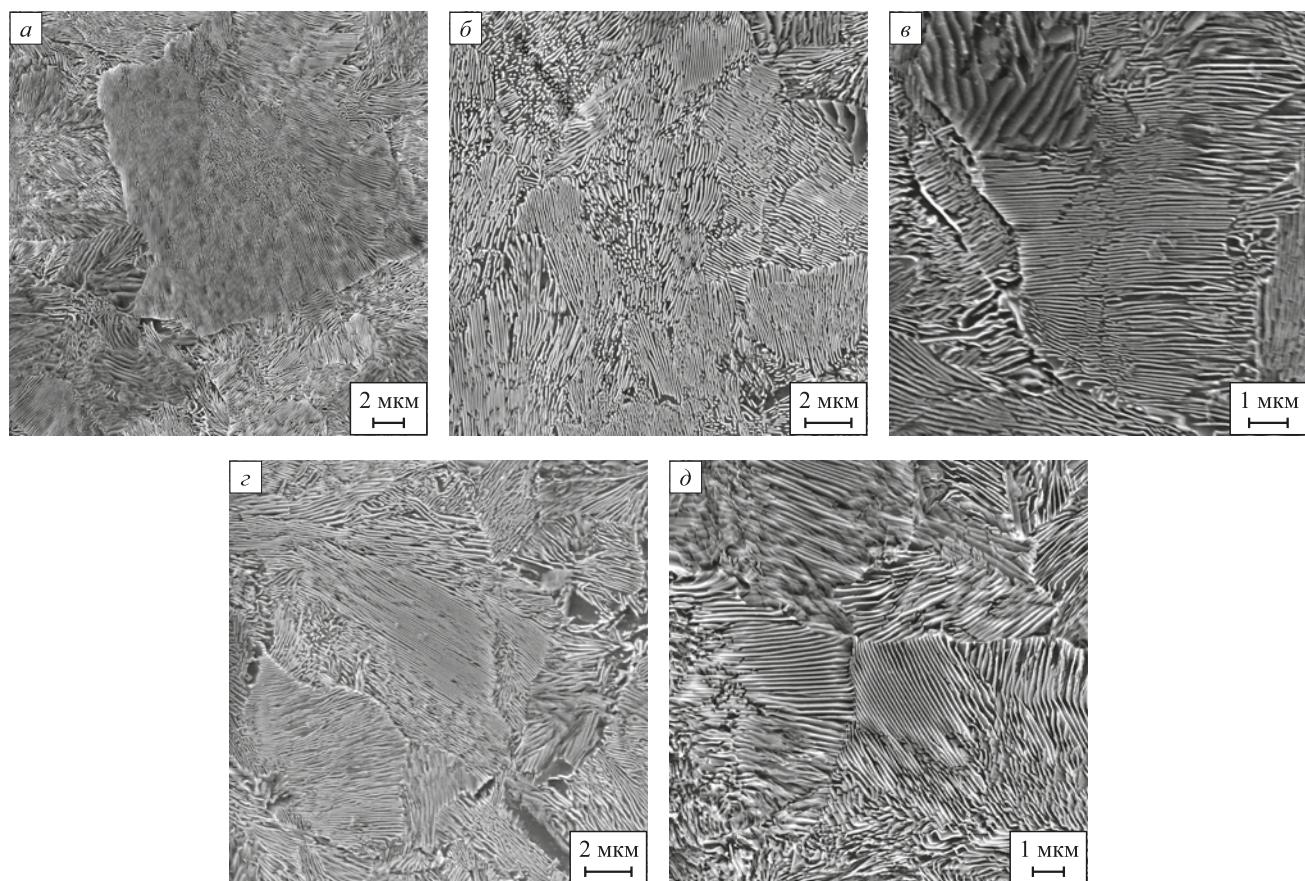


Рис. 2. Микроструктура металла исследуемых рельсов составов 1 – 5 с деформируемыми пластинами (а – д)

Fig. 2. Microstructure of the studied rails metal of compositions 1 – 5 with deformable plates (a – d)

В результате количественного анализа оценивали такие параметры микроструктуры, как межпластиначатое расстояние (дисперсность) и диаметр зерна.

В табл. 3 представлены результаты проведенных измерений параметров микроструктуры, представляющих собой среднеарифметические значения с определением стандартного отклонения.

Из представленных данных следует, что средние значения межпластиначатого расстояния перлита и размеров зерен, измеренные в микроструктуре металла рельсов исследуемых составов, находятся на сопоставимом уровне, за исключением составов 1 и 2, в которых МПР составляет 0,116 и 0,112 мкм соответственно, что ука-

зывает на пониженные значения прочности. В микроструктуре металла рельсов состава 4 средний размер зерен значительно ниже (примерно на 3 – 5 мкм), чем в металле рельсов остальных исследуемых составов (табл. 3). Повышение содержания ванадия и молибдена в металле рельсовой стали состава 4, вероятно, способствовало повышению ударной вязкости, прочностных и пластических характеристик, что в целом можно объяснить способностью торможения роста зерен при термической обработке рельсов [21].

Выводы

Проведен сравнительный анализ химического состава, прочностных и пластических характеристик, а также количественной оценки параметров микроструктуры железнодорожных рельсов пяти исследуемых составов, произведенных из заэвтектоидной стали марки 90ХАФ.

Наилучшее сочетание прочностных и пластических характеристик получено в результате испытаний на растяжение, ударный изгиб, а также значение твердости на поверхности катания головки рельса, произведенного из опытного состава 4 с несколько повышенными значениями по содержанию таких микролегирую-

Таблица 3. Параметры микроструктуры

Table 3. Microstructure parameters

Состав	МПР, мкм	Диаметр зерна, мкм
1	0,116 ± (0,019)	18,36 ± (4,04)
2	0,112 ± (0,020)	19,30 ± (4,80)
3	0,100 ± (0,013)	20,23 ± (2,82)
4	0,110 ± (0,011)	15,14 ± (2,83)
5	0,109 ± (0,011)	20,60 ± (3,90)

щих элементов, как ванадий и молибден в среднем на 0,01 – 0,06 и 0,080 – 0,012 % соответственно.

В результате количественной оценки параметров микроструктуры среднее значение межпластиначатого расстояния перлита в исследуемых образцах находится на сопоставимом уровне. Структура металла (состав 4) рельсов является более мелкозернистой (диаметр зерна меньше на 3 – 5 мкм), что в совокупности с наличием дисперсной структуры перлита и повлияло на получение оптимального сочетания прочностных и пластических характеристик исследуемых рельсов.

Следует отметить, что в условиях реальной эксплуатации стойкость к образованию в рельсах дефектов контактной усталости и стойкость к образованию дефектов могут зависеть от большого количества факторов. Понимание механизмов формирования структуры и оптимального соотношения структуры и механических свойств позволяет разрабатывать рельсы персонализированные для различных участков дороги и тем самым повышать эффективность их использования и обеспечивать увеличение срока их службы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Добужская А.Б., Галицын Г.А., Мухранов Н.В., Фомичев М.С., Белокурова Е.В., Беликов С.В. Исследование структурно-фазовых превращений при охлаждении рельсовой стали. *Сталь*. 2015;(11):86–91.
<https://doi.org/10.3103/S0967091215110066>
2. Полевой Е.В., Добужская А.Б., Темлянцев М.В. Влияние скорости охлаждения на формирование структуры рельсовой стали, микролегированной ванадием и ниобием. *Вестник ПНИПУ*. 2016;18(4):7–20.
 Polevoy E.V., Dobuzhskaya A.B., Temlyantsev M.V. Influence of speed of cooling on formation of structure of a rail steel microalloyed by vanadium and niobium. *Bulletin of PNRPU*. 2016;18(4):7–20. (In Russ.).
<https://doi.org/10.5707/2304-4497-2016-18-4-7-20>
3. Singh A., Kesharwani Er.G.S., Mandal V., Ruhela A. Improvement of the mechanical properties of rail Thermit welds by heat treatment. *International Railway Journal of Engineering and Technology*. 2020;7(7):419–432.
4. Ивано Г., Кацуя И. Технологические и эксплуатационные характеристики рельсов с высоким содержанием углерода. В кн.: Улучшение качества и условий эксплуатации рельсов и рельсовых скреплений: сб. науч. тр. Екатеринбург: ОАО «УИМ»; 2012:72–81.
5. Gray G.T., Thompson A.W., Williams J.C. Influence of microstructure on fatigue crack initiation in fully pearlitic steels. *Metallurgical Transactions A*. 1985;16(3):753–760.
<https://doi.org/10.1007/BF02814826>
6. Masaharu U., Kenji M. Effects of carbon content and hardness on rolling contact fatigue resistance in heavily loaded pearlitic rail steels. *Wear*. 2020;444-445:203120.
<https://doi.org/10.1016/j.wear.2019.203120>
7. Шур Е.А. Влияние структуры на эксплуатационную стойкость рельсов. В кн.: *Влияние свойств металлической матрицы на эксплуатационную стойкость рельсов: Сборник научных трудов*. Екатеринбург: ОАО «УИМ»; 2006:37–63.
8. 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 wear-resistant rails. *Izvestiya vuzov. Chernaya metallurgiya*. 2007;50(10):35–37. (In Russ.).
9. Godefroid L.B., Souza A.T., Pinto M.A. Fracture toughness, fatigue crack resistance and wear resistance of two railroad steels. *Journal of Materials Research and Technology*. 2020;9(5):9588–9597.
<https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.06.092>
10. Ray A. Microalloying with niobium in rail steels. *Materials Science and Technology*. 2017;33(14):1584–1600.
<https://doi.org/10.1080/02670836.2017.1309111>
11. Babachenko O.I., Kononenko H.A., Podolskyi R.V., Safronova O.A. Steel for railroad rails with improved operating properties. *Materials Science*. 2021;56(6):814–819.
<https://doi.org/10.1007/s11003-021-00499-1>
12. Guo N., Liu Q., Xin Yu., Luan B., Zhou Z. The application of back-scattered electron imaging for characterization of pearlitic steels. *Science China. Technological Sciences*. 2011;54(9):2368–2372.
<https://doi.org/10.1007/s11431-011-4500-3>
13. Полевой Е.В., Юнин Г.Н., Головатенко А.В., Темлянцев М.В. Новейшие разработки рельсовой продукции в АО «ЕВРАЗ 3СМК». *Сталь*. 2019;(7):55–58.
 Polevoy E.V., Yunin Gh.N., Golovatenko A.V., Temlyantsev M.V. Recent developments of rail steel products at the “West Siberian Iron & Steel Works”. *Stal’*. 2019;(7):55–58. (In Russ.).
14. Бессонова О.В., Полевой Е.В., Осколкова Т.Н. Сравнительный анализ микроструктуры и свойств рельсов различного химического состава. *Вестник Сибирского государственного индустриального университета*. 2023;(4(46)):46–56.
[https://doi.org/10.5707/2304-4497-2023-4\(46\)-46-56](https://doi.org/10.5707/2304-4497-2023-4(46)-46-56)
15. Бессонова О.В., Полевой Е.В., Осколкова Т.Н. Comparative analysis of the microstructure and properties of rails with various chemical compositions. *Bulletin of the Siberian State Industrial University*. 2023;(4(46)):46–56. (In Russ.).
[http://doi.org/10.5707/2304-4497-2023-4\(46\)-46-56](http://doi.org/10.5707/2304-4497-2023-4(46)-46-56)
16. Юрьев А.А., Иванов Ю.Ф., Громов В.Е., Мусорина Е.В., Рубанникова Ю.А. Перераспределение углерода в структуре рельсовой стали после длительной эксплуатации. *Вестник Сибирского государственного индустриального университета*. 2017;(4):4–8.
 Yur’ev A.A., Ivanov Yu.F., Gromov E.V., Musorina E.V., Rubannikova Yu.A. Redistribution of carbon in the structure of rail steel after long-term operation. *Bulletin of the Siberian State Industrial University*. 2017;(4):4–8.
17. Егорова Л.Ю. Влияние структурного состояния перлита на физико-механические и коррозионные свойства высокуглеродистых сталей: автореф. дис. канд. техн. наук. Екатеринбург: ИФМ УрО РАН; 2014:23.

17. Shur Ev.A., Bychkova N.Ya., Trushevsky S.M. Physical aspects of rolling contact fatigue of rail steels. *Wear*. 2005;258(7-8):1165–1171.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.wear.2004.03.027>
18. Ivanisenko Yu., Fecht H.J. Microstructure modification in the surface layers of rail-way rails and wheels: Effect of high strain rate deformation. *Steel Tech.* 2008;3(1):19–23.
19. Новожилов И.С., Чередников В.А., Полевой Е.В., Рубцов В.Ю., Улегин К.А. Влияние микролегирования и горячей деформации на кинетику распада аустенита рельсовой стали. *Калибровочное бюро*. 2022;(20): 11–22.
20. Novozhilov I.S., Cherednikov V.A., Polevoi E.V., Rubtsov V.Yu., Ulegin K.A. Micro-alloying effect and hot deformation on austenite decay kinetics of rail steel. *Roll Pass Design Bureau*. 2022;(20):11–22. (In Russ.).
21. Добужская А.Б., Галицын Г.А., Полевой Е.В., Бессонова О.В. Разработка методики оценки межпластиночного расстояния перлита в рельсовой стали. В кн.: *Улучшение качества и условий эксплуатации рельсов и рельсовых скреплений: сб. науч. тр.* Екатеринбург: ОАО «УИМ»; 2022:137–151.
22. Гольдштейн М.И., Фарбер В.М. Дисперсионное упрочнение стали. Москва: Металлургия; 1979:208.

Сведения об авторах

Information about the Authors

Ольга Валерьевна Бессонова, главный специалист металловед по электронной микроскопии и исследовательским работам, АО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат»

ORCID: 0009-0002-2883-5766

E-mail: Olga.Bessonova@evraz.com

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

ORCID: 0000-0001-9025-5442

E-mail: Egor.Polevoj@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: oskolkova@kuz.ru

Татьяна Анатольевна Комарова, главный специалист, АО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат»

ORCID: 0009-0005-4913-7141

E-mail: Tatyana.Komarova3@evraz.com

Вклад авторов

Contribution of the Authors

О. В. Бессонова – проведение лабораторных исследовательских работ по изучению рельсовых сталей различного химического состава, подготовка текста статьи.

Е. В. Полевой – анализ и внесение предложений по химическим составам рельсовых сталей заэвтектоидного состава, научное руководство.

Т. Н. Осколкова – проведение консультационных работ по результатам исследований, помощь в формировании статьи.

Т. А. Комарова – организация работ по выбору рельсовых сталей заэвтектоидного состава.

О. В. Бессонова – conducting laboratory research on rail steels of various chemical compositions, writing the text.

Е. В. Полевой – analysis and making suggestions on the chemical compositions of hypereutectoid rail steels, scientific guidance.

Т. Н. Осколкова – consulting on results, assistance in the article formation.

Т. А. Комарова – selection of rail steels of hypereutectic composition.

Поступила в редакцию 28.03.2025

После доработки 01.09.2025

Принята к публикации 10.09.2025

Received 28.03.2025

Revised 01.09.2025

Accepted 10.09.2025