



УДК 669.539.382:669.17:669.14.018:539.27

DOI 10.17073/0368-0797-2023-3-327-329



Краткое сообщение
Short report

ЭВОЛЮЦИЯ СТРУКТУРНО-ФАЗОВОГО СОСТОЯНИЯ И СВОЙСТВ РЕЛЬСОВ ИЗ ЗАЭВТЕКТОИДНОЙ СТАЛИ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

М. А. Порфирьев, В. Е. Громов , Р. Е. Крюков

Сибирский государственный индустриальный университет (Россия, 654007, Кемеровская область – Кузбасс, Новокузнецк, ул. Кирова, 42)

gromov@physics.sibsiu.ru

Аннотация. Методами современного физического материаловедения выполнен анализ эволюции микротвердости, трибологических свойств, дислокационной субструктуры и фазового состава рельсов повышенной износостойкости и контактной выносливости категории ДТ 400 ИК после пропущенного тоннажа 187 млн т брутто на экспериментальном кольце РЖД. Экстремально длительная эксплуатация рельсов сопровождается уменьшением параметра износа поверхности катания (в 3,1 раза), увеличением микротвердости (в 1,4 раза), скалярной плотности дислокаций (в 1,5 раза) и содержания карбида Fe_3C (в 1,24 раза). Эксплуатация рельсов привела к уменьшению параметра кристаллической решетки, что коррелирует с ростом содержания карбида железа. Высказаны предположения о физических причинах изменения параметров.

Ключевые слова: рельсы специального назначения, структура, микротвердость, фазовый состав, трибологические свойства

Благодарности: Авторы работы выражают благодарность Е.В. Полевому за предоставленные образцы рельсов и Ю.Ф. Иванову за помощь в проведении экспериментов и обсуждении результатов.

Для цитирования: Порфирьев М.А., Громов В.Е., Крюков Р.Е. Эволюция структурно-фазового состояния и свойств рельсов из заэвтектоидной стали при длительной эксплуатации. *Известия вузов. Черная металлургия*. 2023;66(3):327–329. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2023-3-327-329>

EVOLUTION OF STRUCTURAL-PHASE STATE AND PROPERTIES OF HYPEREUTECTOID STEEL RAILS AT LONG-TERM OPERATION

M. A. Porfir'ev, V. E. Gromov , R. E. Kryukov

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

gromov@physics.sibsiu.ru

Abstract. The methods of modern physical materials science were used to analyze the evolution of microhardness, tribological properties, dislocation substructure and phase composition of the rails with increased wear resistance and contact endurance of DT 400 IR category after missed tonnage of 187 million gross tons on the experimental ring of Russian Railways. It is shown that extremely long-term operation of the rails is accompanied by a decrease (3.1 times) in wear parameter of the rolling surface and an increase (1.4 times) in microhardness, scalar dislocation density (1.5 times) and Fe_3C carbide content (1.24 times). Operation of the rails led to a decrease in the crystal lattice parameter, which correlates with an increase in the content of iron carbide. We made the assumptions about physical causes of the change in parameters.

Keywords: special purpose rails, structure, microhardness, phase composition, tribological properties

Acknowledgements: The authors express their gratitude to E.V. Polevoy for the provided samples of rails and Y.F. Ivanov for his help in conducting experiments and discussing the results.

For citation: Porfir'ev M.A., Gromov V.E., Kryukov R.E. Evolution of structural-phase state and properties of hypereutectoid steel rails at long-term operation. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2023;66(3):327–329. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2023-3-327-329>

ВВЕДЕНИЕ

Непрерывное возрастание требований к надежности рельсов в условиях высоких нагрузок на ось и больших скоростей движения обуславливает необходимость их высокой эксплуатационной стойкости и анализа возможных причин изъятия [1]. Знание закономерностей формирования структурно-фазовых состояний и свойств специальных видов рельсов необходимо как для совершенствования технологии их производства, так и для предсказания их поведения при эксплуатации.

В России производство дифференцированно закаленных специальных видов рельсов повышенной износостойкости и контактной выносливости осуществляется уже более трех лет. Это рельсы категории ДТ 400 ИК для эксплуатации на прямых участках пути со скоростями до 200 км/час и кривых участках без ограничения по грузонапряженности. Важность информации о структурно-фазовом состоянии, прочностных и трибологических свойствах новых видов рельсов определяется глубиной фундаментальных проблем физического материаловедения, с одной стороны, и практической значимостью проблемы, с другой [2 – 4]. В соответствии с программой развития РЖД предусмотрено увеличение срока службы рельсов до 2,0 млрд т пропущенного тоннажа. По данным РЖД в 2020 г. до 75 % изъятий рельсов приходилось при достижении предельного состояния по износу и контактно-усталостным дефектам.

Целью настоящей работы является анализ изменения фазового состава, дислокационной субструктуры и свойств рельсов специального назначения после длительной эксплуатации.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве материала для исследования использованы образцы заэвтектоидной стали Э90ХАФ, свойства и элементный состав которой регламентируются ГОСТ 51685 – 2013, ТУ 24.10.75111-298-05757676.2017 РЖД. Анализировались рельсы после дифференцированной закалки и после эксплуатации на экспериментальном кольце РЖД (пропущенный тоннаж 187 млн т брутто).

Измерение микротвердости стали осуществляли на приборе ПМТ-3 методом Виккерса при нагрузке на индентор 0,5 Н. Трибологические свойства характеризовали параметром износа и коэффициентом трения. Испытания проводили в условиях сухого трения по схеме диск – палец на трибометре Pin on Disc and Oscillating TRIBOtester (TRIBOtechnic, Франция) при следующих параметрах: шарик из твердого сплава ВК8 диаметром 6 мм; радиус трека износа 2 мм; пройденный контртелом путь 50 м; скорость вращения образца 25 мм/с; нагрузка на индентор 2 Н; температура комнатная. Профиль канавки износа и ее параметры исследовали контактным нанопрофилометром (см. рисунок). Параметр изнашивания k рассчитывали по формуле:

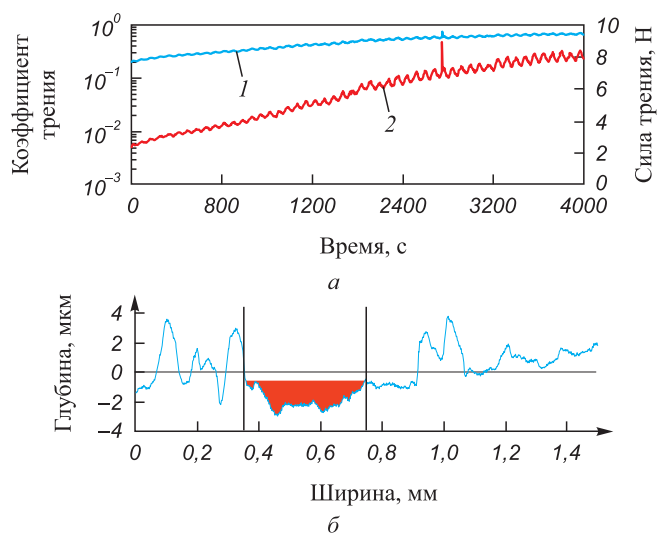
$$k = \frac{2\sigma RA}{FL},$$

где R – радиус трека, мм; A – площадь поперечного сечения канавки износа, мм²; F – величина приложенной нагрузки, Н; L – пройденный шариком контртела путь, м [5].

Дислокационная субструктура определялась методами просвечивающей электронной микроскопии (прибор JEOLJEM 2100 F) [6; 7]. Исследование фазового состава и структурных параметров проводилось на дифрактометре ХРД-600 в CuK_α -излучении с использованием баз данных РДК 4+ и программы полнопрофильного анализа POWDERCELL 2/4.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

После эксплуатации рельсов категории ДТ 400 ИК микротвердость поверхности катания увеличилась в 1,4 раза (с 5,5 до 7,7 ГПа), а скалярная плотность дислокаций в 1,5 раза (с $5,0 \cdot 10^{10}$ до $7,5 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$). Такое изменение параметров связано с формированием сложного напряженно деформированного состояния поверхности катания рельсов при длительной эксплуатации [1]. Этим же может быть объяснено увеличение более чем в три раза сопротивления износу поверхности катания. В исходном состоянии параметр износа составляет $7,7 \cdot 10^{-6} \text{ мм}^3/(\text{Н} \cdot \text{м})$, а после эксплуатации $2,5 \cdot 10^{-6} \text{ мм}^3/(\text{Н} \cdot \text{м})$. Коэффициент трения уменьшается незначительно: от 0,43 до 0,35. Эти результаты не дают основания для экстраполяции износа при последующей эксплуатации. Как и в работе [1], нужны значения этого параметра при других значениях пропущенного тоннажа.



Зависимость коэффициента трения (1) и силы трения (2) от времени трибологических испытаний рельсов ДТ 400 ИК после пропущенного тоннажа 187 млн т (а) и профиль дорожки трения (б)

Dependence of friction coefficient (1) and friction force (2) on time of tribological testing of DT 400 IR rails after missed tonnage of 187 million tons (a) and profile of friction track (b)

Рентгенофазовый анализ рельсов категории ДТ 400 ИК показал, что основными фазами стали являются α -Fe и карбид железа Fe_3C . В исходном состоянии содержание фаз составляет 95,83 и 4,17 % (по массе) соответственно. Параметры кристаллической решетки: для α -Fe $a = 2,8736 \text{ \AA}$, для карбида Fe_3C $a = 4,7313 \text{ \AA}$, $b = 4,3299 \text{ \AA}$, $c = 2,8330 \text{ \AA}$.

После пропущенного тоннажа содержание фаз для α -Fe и Fe_3C составляет 94,84 и 5,16 % (по массе) соответственно. При этом параметры кристаллической решетки: для α -Fe $a = 2,8713 \text{ \AA}$; для карбида железа $a = 4,3057 \text{ \AA}$, $b = 4,3057 \text{ \AA}$, $c = 2,8342 \text{ \AA}$. Эти данные свидетельствуют о том, что эксплуатация рельсов привела к увеличению в 1,24 раза содержания карбида Fe_3C , к изменению параметров его кристаллической решетки и, возможно, дефектной структуры. Параметр кристаллической решетки α -Fe уменьшился. Это коррелирует с увеличением содержания карбида железа и свидетельствует о выходе углерода из кристаллической решетки α -Fe с образованием карбидной фазы в процессе эксплуатации.

Выводы

Эксплуатация рельсов категории ДТ 400 ИК приводит к повышению износостойкости, микротвердости, скалярной плотности дислокаций и содержания карбида Fe_3C .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Yuriev A.A., Gromov V.E., Ivanov Yu.F., Rubannikova Yu.A., Starostenkov M.D., Tabakov P.Y. *Structure and Properties of Lengthy Rails after Extreme Long Term Operation*. Materials Research Forum LLC, 2021;106:193.
<https://doi.org/10.21741/9781644901472>
2. Ivanov Yu.A., Gromov V.E., Yuriev A.A., Kormyshev V.E., Rubannikova Yu.A., Semin A.P. Deformation strengthening mechanisms of rails in extremely long-term operation. *Journal of Materials Research and Technology*. 2021;11:710–718.
<https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.12.107>
3. Pan R., Ren R., Chen C., Zhao X. Formation of nanocrystalline structure in pearlitic steels by dry sliding wear. *Materials Characterization*. 2017;132:397–404.
<https://doi.org/10.1016/j.matchar.2017.05.031>
4. Vinogradov A., Estrin Y. Analytical and numerical approaches to modelling severe plastic deformation. *Progress in Materials Science*. 2018;95:172–242.
<https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2018.02.001>
5. Беркович И.И., Громаковский Д.Г. Трибология. *Физические основы, механика и технические приложения* / Под ред. Д.Г. Громаковского. Самара: СамГТУ; 2000:268.
6. Egerton F.R. *Physical Principles of Electron Microscopy*. Basel: Springer International Publishing; 2016:196.
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-39877-8>
7. Kumar C.S.S.R. *Transmission Electron Microscopy. Characterization of Nanomaterials*. New York: Springer; 2014:717.
<https://doi.org/10.1007/978-3-642-38934-4>

Сведения об авторах

Information about the Authors

Михаил Анатольевич Порфирьев, научный сотрудник Управления научных исследований, Сибирский государственный индустриальный университет

ORCID: 0000-0003-3602-5739

E-mail: mport372@gmail.com

Виктор Евгеньевич Громов, д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой естественнонаучных дисциплин им. профессора В.М. Финкеля, Сибирский государственный индустриальный университет

ORCID: 0000-0002-5147-5343

E-mail: gromov@physics.sibsiu.ru

Роман Евгеньевич Крюков, д.т.н., доцент кафедры металлургии черных металлов, Сибирский государственный индустриальный университет

ORCID: 0000-0002-3394-7941

E-mail: rek_nzrmk@mail.ru

Mikhail A. Porfir'ev, Research Associate of Department of Scientific Researches, Siberian State Industrial University

ORCID: 0000-0003-3602-5739

E-mail: mport372@gmail.com

Viktor E. Gromov, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof., Head of the Chair of Science named after V.M. Finkel', Siberian State Industrial University

ORCID: 0000-0002-5147-5343

E-mail: gromov@physics.sibsiu.ru

Roman E. Kryukov, Dr. Sci. (Eng.), Assist. Prof. of the Chair of Ferrous Metallurgy, Siberian State Industrial University

ORCID: 0000-0002-3394-7941

E-mail: rek_nzrmk@mail.ru

Вклад авторов

Contribution of the Authors

М. А. Порфирьев – проведение экспериментов, составление текста.

В. Е. Громов – формирование концепции работы, редактирование текста.

Р. Е. Крюков – подготовка образцов, обсуждение результатов, обзор литературы.

M. A. Porfir'ev – conducting experiments, writing the text.

V. E. Gromov – formation of the work concept, editing the text.

R. E. Kryukov – preparation of the samples, discussion of the results, literature review.

Поступила в редакцию 10.01.2023

После доработки 25.01.2023

Принята к публикации 31.01.2023

Received 10.01.2023

Revised 25.01.2023

Accepted 31.01.2023