



Краткое сообщение

УДК 669.382:669.17:625.1

DOI 10.17073/0368-0797-2022-2-134-136



ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ АТОМОВ УГЛЕРОДА В РЕЛЬСАХ ПРИ СВЕРХДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Р. В. Кузнецов¹, О. А. Перегудов², В. В. Шляров¹

¹ Сибирский государственный индустриальный университет (Россия, 654007, Кемеровская обл. – Кузбасс, Новокузнецк, ул. Кирова, 42)

² Омский государственный технический университет (Россия, 644050, Омск, пр. Мира, 11)

Аннотация. Проведена количественная оценка относительного содержания углерода в структурных элементах головки рельсов после пропущенного тоннажа 1411 и 1770 млн т брутто. В исходном состоянии углерод в основном содержится в частицах цементита. После эксплуатации рельсов местом расположения углерода, наряду с цементитом, являются дефекты кристаллической структуры стали. Показано, что процессы перераспределения углерода наиболее интенсивно происходят в поверхностных слоях до 2 мм. Увеличение пропущенного тоннажа сопровождается заметным перемещением углерода на дефекты структуры рабочей выкружки по сравнению с поверхностью катания.

Ключевые слова: атомы углерода, перераспределение, рельсы, длительная эксплуатация, дефекты, цементит

Благодарность: Выражаем благодарность Е.В. Полевому за предоставленные образцы, С.В. Панину и Ю.Ф. Иванову за обсуждение результатов работы.

Для цитирования: Кузнецов Р.В., Перегудов О.А., Шляров В.В. Перераспределение атомов углерода в рельсах при сверхдлительной эксплуатации // Известия вузов. Черная металлургия. 2022. Т. 65. № 2. С. 134–136. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2022-2-134-136>

Short report

REDISTRIBUTION OF CARBON ATOMS IN RAILS UNDER ULTRA LONG-TERM OPERATION

R. V. Kuznetsov¹, O. A. Peregudov², V. V. Shlyarov¹

¹ Siberian State Industrial University (42 Kirova Str., Novokuznetsk, Kemerovo Region – Kuzbass 654007, Russian Federation)

² Omsk State Technical University (11 Mira Ave., Omsk 644050, Russian Federation)

Abstract. The article considers quantitative estimation of the relative carbon content in the structure elements of rail head after passed tonnage of 1411 and 1770 mln tons. In the initial state carbon is mainly located in cementite particles and after the operation the defects of crystal structure together with cementite are the places of carbon location. It is shown that the processes of carbon redistribution take place more intensive in surface layers up to 2 mm. Increase in passed tonnage is accompanied by intensive carbon movement on the defects of working fillet structure compared to the tread surface.

Keywords: carbon atoms, redistribution, rails, long-term operation, defects, cementite

Acknowledgements: The authors express their gratitude to E.V. Polevoi for the samples provided, and S.V. Panin and Yu.F. Ivanov for discussing the results obtained.

For citation: Kuznetsov R.V., Peregudov O.A., Shlyarov V.V. Redistribution of carbon atoms in rails under ultra long-term operation. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2022, vol. 65, no. 2, pp. 134–136. (In Russ.). <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2022-2-134-136>

Понимание природы формирования и эволюции структурно-фазовых состояний в поверхностных слоях рельсов при их изготовлении и длительной эксплуатации необходимо для создания рельсов специальных категорий и исключения возможности протекания процессов деградации и разрушения с катастрофической скоростью [1].

Целью настоящей работы является анализ изменения количества углерода в структуре 100-м дифферен-

цированно закаленных рельсов после пропущенного тоннажа 1411 и 1770 млн т брутто на экспериментальном кольце Российских железных дорог (РЖД). Анализ проводился на глубине 0, 2 и 10 мм от поверхности по центральной оси и по радиусу скругления выкружки.

Оценку относительного содержания углерода на структурных элементах осуществляли по соотношению [2]:

Распределение атомов углерода в структуре рельсов

Distribution of carbon atoms in the rails structure

Структурный элемент	Содержание углерода, % (по массе)					
	Расстояние до поверхности катания, мм			Расстояние до поверхности выкружки, мм		
	0	2	10	0	2	10
Пропущенный тоннаж 1411 млн т брутто						
Частицы цементита	0,50	0,64	0,74	0,34	0,62	0,73
Кристаллическая решетка α -Fe	0,0015	0	0	0,0015	0	0
Дефекты структуры стали (дислокации, субграницы, границы)	0,24	0,10	0	0,40	0,12	0,01
Пропущенный тоннаж 1770 млн т брутто						
Частицы цементита	0,32	0,58	0,73	0,22	0,25	0,68
Кристаллическая решетка α -Fe	0	0	0	0	0	0
Дефекты структуры стали (дислокации, субграницы, границы)	0,44	0,17	0,02	0,54	0,50	0,07

$$\Delta C = 0,07\Delta V,$$

где ΔV – объемная доля частиц карбидной фазы.

Результаты выполненных оценок представлены в таблице. Если в исходном состоянии основное содержание углерода соответствует частицам цементита, то после эксплуатации рельсов местом расположения углерода (наряду с частицами цементита) являются дефекты кристаллической структуры стали (дислокации, границы зерен и субзерен), а в поверхностном слое стали углерод обнаруживается и в кристаллической решетке α -железа.

Из таблицы также следует, что процессы перераспределения атомов углерода наиболее интенсивно реализуются в поверхностных слоях на глубине до 2 мм. Увеличение пропущенного тоннажа также сопровождается заметным перемещением атомов углерода на дефекты структуры стали в рабочей выкружке по сравнению с поверхностью катания.

По оценкам, выполненным в работе [3], эффект распада цементита и перемещение атомов углерода движущимися дислокациями не может превышать долей процента. В работах [1, 3] отмечается, что вторым механизмом распада атомов углерода из решетки карбидной фазы с образованием атмосфер Коттрелла является «вытягивание» этих атомов в процессе пластической деформации дислокациями. Это происходит вследствие заметной разницы средней энергии связи атомов углерода с дислокациями (0,6 эВ) и с атомами железа в решетке цементита (0,4 эВ) [1]. Согласно классическим представлениям диффузия углерода протекает в поле напряжений, создаваемом дислокационной субструктурой, которая формируется вокруг пластин цементита. При этом степень распада цементита определяется величиной плотности дислокаций и типом субструктуры.

При «вытягивании» атомов углерода из кристаллической решетки наблюдается изменение дефектной субструктуры карбида из-за проникновения дислокаций в решетку цементита. Однако некогерентная межфазная граница α -Fe–Fe₃C будет этому препятствовать, оставляя возможным лишь диффузионный массоперенос, который может быть реализован различными механизмами [4, 5]: диффузией по междоузлиям и по деформационным вакансиям.

При пропущенном тоннаже 1411 и 1770 млн т брутто в поверхностном слое накапливается критическая плотность дефектов, что сдерживает развитие обратимой упругой деформации и вовлечение (развитие) механизма пластической дисторсии. Формирование подобной «критической» структуры будет завершаться зарождением микротрещин по усталостному механизму и выходом рельсов из строя. По этой причине повышение ресурса работы рельсов может быть достигнуто за счет как можно более длительного сохранения структуры, способной к развитию обратимых деформационных процессов, которые исключают разрушение цементитных пластин в перлитных колониях с последующим перемещением атомов углерода на дефекты (дислокации) и области решетки α -железа.

Выводы

Длительная эксплуатация рельсов (пропущенный тоннаж 1411 и 1770 млн т брутто) сопровождается перераспределением атомов углерода по центральной оси головки и оси симметрии выкружки. Длительная эксплуатация приводит к существенному перемещению атомов углерода на дефекты структуры, в рабочей выкружке это более заметно по сравнению с поверхностью катания. При интерпретации результатов использованы представления о механизме пластической дисторсии.

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. USA: Materials Research Forum LLC, 2021. 193 p. <https://doi.org/10.21741/9781644901472>
2. Могутнов Б.М., Томилин И.А., Шварцман Л.А. Термодинамика железоуглеродистых сплавов. М.: Металлургия, 1972. 328 с.
3. Гриднев В.Н., Гаврилюк В.Г. Распад цементита при пластической деформации стали // Металлофизика. 1982. Т. 4. № 3. С. 74–87.
4. Gavriljuk V.G. Decomposition of cementite in pearlitic steel due to plastic deformation // Materials Science and Engineering: A. 2003. Vol. 345. No. 1-2. P. 81–89. [https://doi.org/10.1016/S0921-5093\(02\)00358-1](https://doi.org/10.1016/S0921-5093(02)00358-1)
5. Li Y.J., Choi P., Borchers C., Westerkamp S., Goto S., Raabe D., Kirchheim R. Atomic-scale mechanisms of deformation-induced cementite decomposition in pearlite // Acta Materialia. 2011. Vol. 59. No. 10. P. 3965–3977. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2011.03.022>

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*. USA: Materials Research Forum LLC, 2021, 193 p. <https://doi.org/10.21741/9781644901472>
2. Mogutnov B.M., Tomilin I.A., Shvartsman L.A. *Thermodynamics of Iron-Carbon Alloys*. Moscow: Metallurgiya, 1972, 328 p. (In Russ.).
3. Gridnev V.N., Gavriljuk V.G. Decay of cementite during steel plastic deformation. *Metallofizika*. 1982, vol. 4, no. 3, pp. 74–87. (In Russ.).
4. Gavriljuk V.G. Decomposition of cementite in pearlitic steel due to plastic deformation. *Materials Science and Engineering: A*. 2003, vol. 345, no. 1-2, pp. 81–89. [https://doi.org/10.1016/S0921-5093\(02\)00358-1](https://doi.org/10.1016/S0921-5093(02)00358-1)
5. Li Y.J., Choi P., Borchers C., Westerkamp S., Goto S., Raabe D., Kirchheim R. Atomic-scale mechanisms of deformation-induced cementite decomposition in pearlite. *Acta Materialia*. 2011, vol. 59, no. 10, pp. 3965–3977. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2011.03.022>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Роман Вадимович Кузнецов, соискатель степени к.т.н. кафедры естественнонаучных дисциплин им. профессора В.М. Финкеля, Сибирский государственный индустриальный университет
E-mail: mail@kuzmash.com

Олег Александрович Перегудов, к.т.н., помощник ректора по молодежной политике, Омский государственный технический университет
ORCID: 0000-0001-5154-5498
E-mail: olegomgtu@mail.ru

Виталий Владиславович Шляров, аспирант кафедры естественнонаучных дисциплин им. профессора В.М. Финкеля, Сибирский государственный индустриальный университет
ORCID: 0000-0001-8130-648X
E-mail: shlyarov@mail.ru

Roman V. Kuznetsov, Candidates for a degree of Cand. Sci. (Eng.) of the Chair of Science named after V.M. Finkel', Siberian State Industrial University
E-mail: mail@kuzmash.com

Oleg A. Peregudov, Cand. Sci. (Eng.), Rector' Assistant for Youth Policy, Omsk State Technical University
ORCID: 0000-0001-5154-5498
E-mail: olegomgtu@mail.ru

Vitalii V. Shlyarov, Postgraduate of the Chair of Science named after V.M. Finkel', Siberian State Industrial University
ORCID: 0000-0001-8130-648X
E-mail: shlyarov@mail.ru

Поступила в редакцию 15.09.2021
 После доработки 27.09.2021
 Принята к публикации 16.10.2021

Received 15.09.2021
 Revised 27.09.2021
 Accepted 16.10.2021