

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«Физическая мезомеханика.

Материалы с многоуровневой иерархически
организованной структурой и интеллектуальные
производственные технологии»

6–10 сентября 2021 г.

Томск, Россия

УДК 539.216 539.22 538.91-405 620.18
ББК Г 534
Т29

Т29 Тезисы докладов Международной конференции «Физическая мезомеханика. Материалы с многоуровневой иерархически организованной структурой и интеллектуальные производственные технологии», 6-10 сентября 2021 года, Томск, Россия. – Томск : Издательство ТГУ, 2021. – 638 с.

ISBN 978-5-907442-03-0

Издание содержит тезисы международной конференции «Физическая мезомеханика. Материалы с многоуровневой иерархически организованной структурой и интеллектуальные производственные технологии». Физическая мезомеханика является научным направлением, в рамках которого материал представляется как иерархическая система взаимосвязанных структурных (масштабных) уровней. В книге отражены последние достижения в области развития принципов и методологии физической мезомеханики и результаты их применения к созданию перспективных материалов в интересах развития новых производственных технологий, освоения космического пространства, в том числе дальнего космоса, электроники, атомной энергетики, нефтегазового комплекса, медицины, транспорта и др. Книга адресована научным сотрудникам, инженерам, аспирантам и специалистам, занимающимся вопросами физической мезомеханики, разработки наноструктурных объемных и наноразмерных материалов, наноструктурированием поверхностных слоев, тонкими пленками и покрытиями, нанотехнологиями, компьютерным конструированием новых материалов и технологий их получения, технологиями локальной нестационарной металлургии и обработки материалов, неразрушающими методами контроля.

Публикуется в авторской редакции.

УДК 539.216 539.22 538.91-405 620.18
ББК Г 534

ISBN 978-5-907442-03-0

© Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, 2021

**МЕХАНИЗМЫ УПРОЧНЕНИЯ РЕЛЬСОВ ПРИ ЭКСТРЕМАЛЬНО
ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

¹Громов В.Е., ²Иванов Ю.Ф., ¹Кормышев В.Е., ¹Рубанникова Ю.А., ³Перегудов О.А.

¹*Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк*

²*Институт сильноточной электроники СО РАН, Томск*

³*Омский государственный технический университет, Омск*

На сегодняшний день до 85% грузовых и более 50% пассажирских перевозок в мире осуществляется железнодорожным транспортом. В последнее время наблюдается значительный рост интенсивности железнодорожного транспорта и плотности его грузовых перевозок, что требует высокого эксплуатационного сопротивления рельсов. Для решения этих проблем используется технология дифференциальной закалки 100-метровых рельсов. Процессы формирования и эволюции структурно-фазовых состояний и свойств поверхностных слоев рельсов при длительной эксплуатации представляют собой сложную группу взаимосвязанных научно-технических проблем. Важность информации в данной области определяется глубиной понимания фундаментальных проблем физики конденсированного состояния, с одной стороны, и практической значимостью проблемы, с другой [1,2].

Очевидно, что при сильном деформационном воздействии, реализуемом при длительной эксплуатации, происходят различные процессы (рекристаллизация, релаксационные процессы, фазовые переходы, распад и образование фаз, аморфизация и др.), что приводят к эволюции структурных фазовых состояний и сопровождаются образованием структурных фазовых градиентов [1-4]. Поэтому выявление характера и закономерностей структуры, фазового состава и дефектной субструктуры в головке рельса при длительной эксплуатации носит актуальный характер.

С позиций физического материаловедения теоретические оценки предела текучести металлической добавки вдоль центральной оси и вдоль выкружки на основе многоаспектного анализа упрочнения, вызванного частицами карбидной фазы, образованием перлитной структуры и дислокационной субструктуры, полями напряжений и упрочнением твердого раствора. Для объемно-закаленных 25-метровых рельсов определены вклады в упрочнение рельсов после пропущенного тоннажа 500 и 1000 млн. тонн и сделаны оценки физических механизмов [5]. Цель исследования - количественная оценка механизмов упрочнения поверхностных слоев дифференцированно закаленных 100-метровых рельсов вдоль центральной оси и вдоль выкружки после предельно длительной эксплуатации.

В качестве исследуемого материала использовались рельсы категории ДТ350, снятые с пути Опытного кольца РЖД после прохода брутто 1411 млн. тонн. Химический состав металла рельсов удовлетворяет требованиям ГОСТ Р 51685-2013 для стали марки Э76ХФ (С – 0,72%; Mn – 0,77%; Si – 0,61%; P – 0,01%; S – 0,01%; Cr – 0,42%; N – 0,07%; C – 0,14%; V – 0,04%; Al – 0,003%; Ti – 0,003%).

Установлено, что рельсовая структура в слое, расположенном на расстоянии 10 мм от поверхности, образована зернами перлита пластинчатой морфологии. В незначительном количестве присутствуют участки «вырожденного перлита» и зерна структурно свободного феррита (зерна феррита, в объеме которых отсутствуют частицы цементита).

Длительная эксплуатация рельсов сопровождается образованием в стали полей внутренних напряжений. При исследовании структуры стали методами просвечивающей электронной микроскопии наличие полей напряжений в материале проявляется в появлении изгибных контуров экстинкции [6], свидетельствующих о кривизне-кручении кристаллической решетки части фольги.

Процедура оценки значений полей внутренних напряжений сводится к определению кривизны-кручения кристаллической решетки χ [6-8]:

$$\chi = \frac{\partial \phi}{\partial \ell} = \frac{0.017}{h}$$

где h - поперечные размеры контура экстинкции.

Величина избыточной плотности дислокаций $\rho \pm$ связана с градиентом кривизны-кручения кристаллической решетки χ через модуль вектора дислокации Бюргерса b :

$$\rho_{\pm} = \frac{1}{b} \cdot \frac{\partial \phi}{\partial \ell}$$

Таким образом, экспериментально определив поперечные размеры контура экстинкции различных конструктивных элементов стали, можно оценить величину избыточной плотности дислокаций.

Анализируя результаты, можно отметить, что величина избыточной плотности дислокаций достигает наибольших значений в структуре пластинчатого перлита, наименьших - в структуре смеси феррит-карбид. По мере удаления от поверхности выкружки величина избыточной плотности дислокаций уменьшается, что свидетельствует об уменьшении амплитуды полей внутренних напряжений металла рельса.

Установлено, что масштаб локализации полей внутренних напряжений материала рельса закономерно зависит от расстояния от поверхности выкружки. Обнаружено, что в слое стали, расположенном на глубине ≈ 10 мм, поля внутренних напряжений локализованы в объеме колонии перлита, источниками полей напряжений являются границы раздела колоний или зерен перлита. В слое, расположенном на расстоянии ≈ 2 мм от поверхности выкружки, контуры экстинкции локализованы в объеме нескольких ферритовых пластин. В слое, образующем поверхность выкружки, контуры экстинкции локализованы преимущественно в объеме отдельных ферритовых пластин. Это означает, что деформационный эффект, возникающий при длительной эксплуатации рельсов, приводит к образованию градиента полей внутренних напряжений металла рельса и, как следствие, к значительному увеличению количества концентраторов напряжений, что, в свою очередь, будет способствовать формированию повышению уровня охрупчивания и выхода из строя рельсов.

Анализ структурно-фазового состояния стали выполнен при финансовой поддержке гранта РФФИ (проект №19-32-60001), анализ механизмов упрочнения выполнен при финансовой поддержке гранта РНФ (проект № 19-19-00183).

1. Эволюция структурно-фазовых состояний рельсов при длительной эксплуатации / В.Е. Громов, О.А. Перегудов, Ю.Ф. Иванов и др. Новосибирск, Изд-во СО РАН. –2017. – 164 с.
2. Microstructure of quenched rails / V.E. Gromov, A.B. Yuriev, K.V. Morozov et.al. Carbide, CISP Ltd. – 2016. – 153 p.
3. Ivanisenko Yu., Fecht H. J. Microstructure modification in the surface layers of railway rails and wheels // Steel tech. 2008. Vol. 3. № 1. P. 19-23.
4. Ivanisenko Yu., Maclaren I., Sauvage X., Valiev R. Z., Fecht H. J. Shear-induced $\alpha \rightarrow \gamma$ transformation in nanoscale Fe–C composite // Acta Mater. 2006. Vol. 54. P. 1659-1669.
5. Громов В.Е., Иванов Ю.Ф., Морозов К.В., Перегудов О.А., Попова Н.А., Никоненко Е.Л. Механизмы упрочнения рельсов при длительной эксплуатации // Проблемы черной металлургии и материаловедения. 2015. № 4. С. 98-103.
6. Козлов Э.В., Старенченко В.А., Конева Н.А. Эволюция дислокационной субструктуры и термодинамика пластической деформации металлических материалов // Металлы. 1993. №5. С. 152-161.
7. Электронная микроскопия тонких кристаллов / П. Хирш, А. Хови, Р. Николсон и др. М.: Мир, 1968. – 574 с.
8. Конева Н.А., Козлов Э.В. Природа субструктурного упрочнения // Известия ВУЗов. Физика. 1982. № 8. С.3-14.