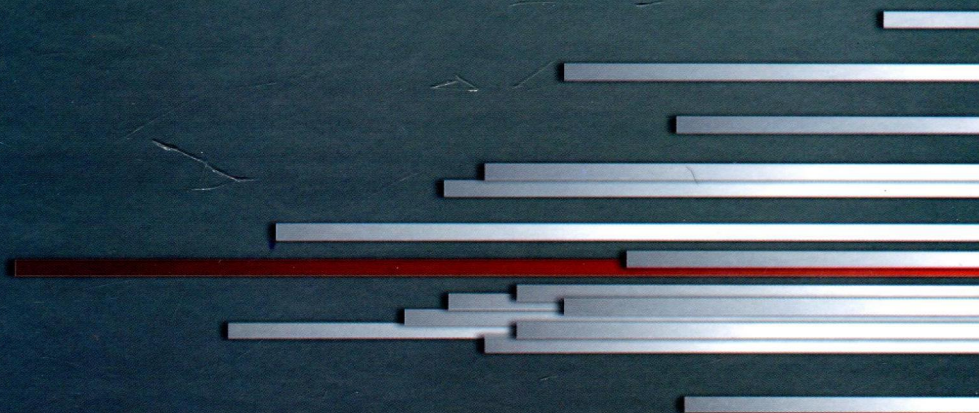


**Эволюция  
структурно-фазовых состояний  
металла рельсов  
при длительной эксплуатации**



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ  
СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНСТИТУТ СИЛЬНОТОЧНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ СО РАН  
МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ КООРДИНАЦИОННЫЙ СОВЕТ  
ПО ФИЗИКЕ ПРОЧНОСТИ И ПЛАСТИЧНОСТИ МАТЕРИАЛОВ

**ЭВОЛЮЦИЯ  
СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫХ СОСТОЯНИЙ  
МЕТАЛЛА РЕЛЬСОВ  
ПРИ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ**



НОВОСИБИРСК  
ИЗДАТЕЛЬСТВО СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
2017

УДК 669:625.1  
ББК 34.22:39.21  
Э15

А в т о р ы:

Громов В. Е., Перегудов О. А., Иванов Ю. Ф.,  
Коновалов С. В., Юрьев А. А.

Эволюция структурно-фазовых состояний металла рельсов при длительной эксплуатации/ В. Е. Громов, О. А. Перегудов, Ю. Ф. Иванов, С. В. Коновалов, А. А. Юрьев; М-во обр. и науки РФ, СибГИУ [и др.]. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2017. — 164 с.

Изложены современные представления о формировании структурно-фазовых состояний и дефектной субструктуры металла рельсов после длительной эксплуатации (пропущенный тоннаж 500 и 1000 млн брутто-тонн). Методами современного физического материаловедения, и в первую очередь просвечивающей электронной дифракционной микроскопии, проведен послыйный анализ и выявлены количественные параметры дислокационной субструктуры, внутренних полей напряжений и частиц карбидной фазы в головке рельсов по центральной оси и по «рабочей» выкружке. Проведено сравнение трибологических параметров, микротвердости и состояния поверхности разрушения рельсов после различных сроков эксплуатации. Выявлена физическая природа эволюции механизмов упрочнения металла рельсов в процессе длительной эксплуатации.

Предназначена для специалистов в области физики конденсированного состояния, материаловедения и термической обработки, механики деформируемого твердого тела, физического материаловедения и может быть полезна аспирантам и студентам старших курсов соответствующих специальностей.

Утверждено к печати научно-техническими советами  
Сибирского государственного индустриального университета,  
Института сильноточной электроники СО РАН,  
Национального исследовательского Томского политехнического университета  
и Межгосударственным координационным советом  
по физике прочности и пластичности материалов

Рецензенты:

*В. И. Данилов, доктор физико-математических наук, профессор,  
ИФПМ СО РАН, г. Томск*

*В. В. Муравьев, доктор технических наук, профессор,  
ИжГТУ им. М. Т. Калашикова, г. Ижевск*

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE  
OF THE RUSSIAN FEDERATION  
SIBERIAN STATE INDUSTRIAL UNIVERSITY  
NATIONAL RESEARCH TOMSK  
POLYTECHNIC UNIVERSITY  
HIGH CURRENT ELECTRONICS INSTITUTE SB RAS  
INTER-STATE COORDINATING COUNCIL FOR PHYSICS  
OF STRENGTH AND PLASTICITY OF MATERIALS

**EVOLUTION OF  
STRUCTURE-PHASE STATES  
OF RAIL METAL  
IN LONG-TERM OPERATION**



NOVOSIBIRSK  
PUBLISHING HOUSE OF THE SIBERIAN BRANCH  
OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES  
2017

**Authors:**

Gromov V. E., Peregudov O. A., Ivanov Y. F.,  
Konovalov S. V., Yur'ev A. A.

Evolution of structure-phase states of rail metal in long-term operation / V. E. Gromov, O. A. Peregudov, Y. F. Ivanov, S. V. Konovalov, A. A. Yur'ev; Ministry of education and science of the RF, SSIU [et al.]. Novosibirsk: Publishing House of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2017. — 164 p.

The modern concepts on the formation of structurally-phase states and defect substructure of metal rails after prolonged use (passed tonnage of 500 and 1000 mln. tons). Methods of modern materials science, and above all, transmission electron diffraction microscopy, performed stratified analysis and revealed quantitative parameters of the dislocation substructure, internal stress fields and particles of the carbide phase in the head rail on the central axis and “working” fillet. A comparison of the tribological parameters microhardness and surface condition of the rails after the destruction of various life. Revealed the physical nature of the mechanisms of evolution of hardening metal rails during continuous operation.

The monograph is intended for specialists in the field of physics of condensed state, physical metallurgy and thermal treatment, mechanics of deformed solid body, physical material science and may be useful for post-graduates and senior students of relevant specialities.

It is approved to printing by research and technology councils of  
Siberian State Industrial University,  
High current electronics institute SB RAS,  
National research Tomsk polytechnic University,  
Inter-state coordinating council for physics  
of strength and plasticity of materials

*Reviewers:*

*V. I. Danilov, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor,  
ISPMS SB RAS, Tomsk*

*B. B. Muraviev, Doctor of Technical Sciences,  
Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk*

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	9
----------------	---

### Глава 1

ИЗНОС РЕЛЬСОВ. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ .....	10
1.1. Общие представления .....	—
1.2. Влияние различных факторов на эксплуатационную стойкость рельсов .....	14
1.3. Моделирование процессов при эксплуатации рельсов .....	23
1.4. Формирование наноструктур при интенсивной пластической деформации и эксплуатации рельсов .....	28
1.5. Контроль напряженно-деформированного состояния и свойств рельсов .....	36
1.6. Износ в системе колесо—рельс при эксплуатации .....	40
Литература к главе 1 .....	44

### Глава 2

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ .....	59
2.1. Материал исследования .....	—
2.2. Методики структурных исследований .....	60
2.3. Методика количественной обработки результатов исследований .....	67
Литература к главе 2 .....	70

### Глава 3

СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ И СВОЙСТВА РЕЛЬСОВ ПОСЛЕ ПРОПУЩЕННОГО ТОННАЖА 500 МЛН БРУТТО-ТОНН .....	72
3.1. Структурно-фазовое состояние и свойства рельсовой стали перед эксплуатацией .....	—
3.2. Градиент структурно-фазового состояния и свойств металла рельсов после пропущенного тоннажа 500 млн брутто-тонн. Поверхность катания .....	77
3.2.1. Свойства металла рельсов, сформировавшиеся после пропущенного тоннажа 500 млн брутто-тонн .....	—
3.2.2. Структура поверхности ударного разрушения металла рельсов после пропущенного тоннажа 500 млн брутто-тонн .....	79
3.2.3. Структура и фазовый состав рельсов после пропущенного тоннажа 500 млн брутто-тонн .....	82
3.3. Градиент структурно-фазового состояния и свойств рельсов после пропущенного тоннажа 500 млн брутто-тонн. «Рабочая» выкружка .....	93
3.3.1. Свойства металла «рабочей» выкружки рельсов, сформировавшиеся после пропущенного тоннажа 500 млн брутто-тонн .....	—

3.3.2. Структура и фазовый состав «рабочей» выкружки рельсов после пропущенного тоннажа 500 млн брутто-тонн	94
Литература к главе 3	102
<b>Глава 4</b>	
<b>СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ И СВОЙСТВА РЕЛЬСОВ ПОСЛЕ ПРОПУЩЕННОГО ТОННАЖА 1000 МЛН БРУТТО-ТОНН</b>	<b>105</b>
4.1. Градиент структурно-фазового состояния и свойств рельсов после пропущенного тоннажа 1000 млн брутто-тонн. Поверхность катания	–
4.1.1. Свойства металла рельсов, сформировавшиеся после пропущенного тоннажа 1000 млн брутто-тонн	–
4.1.2. Структура поверхности ударного разрушения металла рельсов после пропущенного тоннажа 1000 млн брутто-тонн	107
4.1.3. Структура и фазовый состав рельсов после пропущенного тоннажа 1000 млн брутто-тонн	110
4.2. Градиент структурно-фазового состояния и свойств рельсов после пропущенного тоннажа 1000 млн брутто-тонн. «Рабочая» выкружка	118
4.2.1. Свойства металла «рабочей» выкружки, сформировавшиеся после пропущенного тоннажа 1000 млн брутто-тонн	–
4.2.2. Структура и фазовый состав «рабочей» выкружки рельсов после пропущенного тоннажа 1000 млн брутто-тонн	119
Литература к главе 4	128
<b>Глава 5</b>	
<b>ФИЗИЧЕСКАЯ ПРИРОДА УПРОЧНЕНИЯ РЕЛЬСОВ В ПРОЦЕССЕ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ</b>	<b>129</b>
5.1. Эволюция микротвердости и износостойкости поверхности рельсов в процессе длительной эксплуатации	130
5.2. Сравнительный анализ эволюции фазового состава и дефектной субструктуры поверхности рельсов в процессе длительной эксплуатации	131
5.3. Физическая природа упрочнения рельсов в процессе длительной эксплуатации	142
5.3.1. Обице представления о механизмах упрочнения стали	–
5.3.2. Физическая природа упрочнения поверхностного слоя «рабочей» выкружки рельсов в процессе длительной эксплуатации	145
5.3.3. Физическая природа упрочнения поверхности катания рельсов в процессе длительной эксплуатации	151
Литература к главе 5	158
<b>СПИСОК ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ</b>	<b>162</b>