МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Юго-Западный государственный университет
Сибирский государственный индустриальный университет

3-я Международная
научно-практическая конференция

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ МЕТАЛЛОВЕДЕНИЯ И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ,

посвященная памяти академика А.А. Байкова

Сборник научных статей

15 сентября 2022года

Ответственный редактор Е.В. Агеев

Курск 2022

УДК 620.22
ББК 30.3
С 56 СМП-03

Редакционная коллегия:
Е.В. Агеев, д-р техн. наук, профессор (отв. редактор)
Р.А. Латыпов, д-р техн. наук, профессор
А.Н. Новиков, д-р техн. наук, профессор
В.И. Серебровский, д-р техн. наук, профессор
В.В. Булычев, д-р техн. наук, профессор
В.И. Колмыков, д-р техн. наук, профессор
А.Ю. Алтухов, канд. техн. наук, доцент
А.А. Горохов, канд. техн. наук, доцент
С.А. Утаев, доцент, д.ф.т.н. (PhD), (Узбекистан)
С.В. Пикалов, канд. техн. наук (отв. секретарь)

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ МЕТАЛЛОВЕДЕНИЯ И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ, посвященная памяти академика А.А. Байкова: сборник научных статей 3-й Международной научно-практической конференции (15 сентября 2022 года)/ редкол.: Е.В. Агеев (отв. ред.) [и др.]; Юго-Зап. гос. ун-т. Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2022. - 210 с.

ISBN 978-5-907356-18-6

В материалах сборника нашли свое отражение опыт и научные разработки по следующим вопросам: изучение взаимосвязи химического и фазового составов сплавов; теоретические и экспериментальные исследования фазовых и структурных превращений в металлах и сплавах; разработка новых и совершенствование существующих технологических процессов объемной и поверхностной термической, химико-термической, термомеханической и других видов обработок; изучение взаимодействия металлов и сплавов с внешними средами в условиях работы различных технических устройств; исследование работоспособности металлов и сплавов в различных условиях; разработка новых принципов создания сплавов, обладающих заданным комплексом свойств; разработка новых и совершенствование существующих методов фазового, структурного и физико-химического анализов сплавов; определение механизмов влияния различных механических, тепловых, магнитных и других внешних воздействий на структурное состояние металлических материалов и др.

Предназначен для научно-технических работников, ИТР, специалистов в области металловедения и термической обработки металлов и сплавов, преподавателей, студентов и аспирантов вузов.

Мероприятие организовано и проведено при поддержке гранта Президента РФ (НШ-596.2022.4).

ISBN 978-5-907356-18-6

УДК 620.22
ББК 30.3
© Юго-Западный государственный университет, 2022
© Авторы статей, 2022

Дальнейшее повышение температуры нитроцементации ведёт к повышению ударной вязкости. При температуре нитроцементации 750°С ударная вязкость достигает значений, характерных для высокотемпературной нитроцементации (~820°С).

Повышение длительности низкотемпературной нитроцементации штамповых сталей во всех случаях приводит к снижению ударной вязкости, причём с увеличением времени нитроцементации интенсивность снижения ударной вязкости уменьшается. При большой длительности (4…5 часов) ударная вязкость остаётся практически на постоянном низком уровне.

Надо отметить, что ударная вязкость исследованных штамповых сталей, нитроцементованных при температуре 650°С, заметно ниже ударной вязкости этих сталей, нитроцементованных при температуре 550°С.

Заключение

Таким образом можно констатировать, что главным фактором, обусловливающим износостойкость и ударную вязкость штамповых сталей, является температура нитроцементации. Длительность нитроцементации влияет на эксплуатационные характеристики штамповых сталей в меньшей степени, чем температура, однако и влияние времени нитроцементации на эти характеристики достаточно заметно.

Список литературы

1. Трусова Е. В., Колмыков В.И., Дягтярев А.И. и др. Износ и повышение стойкости штампов // Материалы и упрочняющие технологии. 2010. Ч.1. Курск: ЮЗГУ, 2010. С. 178 – 191.
2. Костин Н.А., Трусова Е.В. Исследование насыщающей способности азотирующей пасты при низких и высоких температурах нитроцементации штамповой стали // Учёные записки: электронный журнал Курского государственного университета. 2013. №1. С 80–86.
3. Адаскин А.М. Инструментальные материалы в машиностроении. М.: Инфра – М. 2018. 320 с.
4. Геллер Ю.А. Инструментальные стали. М.: Металлургия, 1983. 525 с.
5. Околович Г.А. Штамповые стали для холодного деформирования металлов. Монография. Изд. 2-е перераб. и доп. Барнаул: Алт. ГТУ, 2010. 202 с.
6. Геллер Ю.А., Евтушенко А.Т., Моисеев В.Ф. Стали повышенной вязкости для штампов холодной высадки и чеканки // МиТОМ. 1971. № 8. С. 49 – 52.
7. Поздняк Л.А., Скрынченко Ю.М., Тишаев С.И. Штамповые стали. М.: Металлургия, 1980. 244 с.
8. Костин Н. А., Колмыков В.И., Трусова Е.В. Карбонитрирование штамповой инструментальной стали Х12Ф в активной пасте // Известия Юго-Западного государственного университета. 2013. №1. С. 137–139.
9. Костин Н.А., Трусова Е.В. Процесс карбонитрирования инструментальной стали в активной пастообразной среде // Металлургия машиностроения. 2014. №3. С. 43 – 45.
10. Патент RU 2501884 C2. Способ нитроцементации деталей из штамповых сталей /Н.А. Костин, В.И. Колмыков и др. Патентообладатель: ФГБОУ ВО «Курский государственный университет». Опубл. 20.12.13// 2013. Бюл. №35.
11. Патент RU 2600612 C1. Способ нитроцементации деталей из штамповых сталей /Н.А. Костин, В.И. Колмыков и др. Патентообладатель: ФГБОУ ВО «Курский государственный университет». Опубл. 27.10.16. // 2016. .Бюл. №30.

***Kostin N.A.**, PhD in Technical Sciences, Associate Professor*
Kursk State University, 305000, Kursk, Russia, ul. Radishev, 33.,
(nikolay-kostin@yandex.ru)
***Kolmykov V.I.**, Doctor of Engineering Science, Professor*
South-West State University, 305040, Russia, Kursk,ul. 50 Let Oktyabrya, 94.,
***Kostin N.N.**, Master's Degree student*
South-West State University, 305040, Russia, Kursk,ul. 50 Let Oktyabrya, 94.

THE EFFECT OF LOW-TEMPERATURE NITROCEMENTATION ON THE WEAR RESISTANCE OF DIE STEELS

The features of low-temperature nitrocementation of 5KHNM and X12M die steels in nitrogen-carbon paste for their use as a material for die tools are considered. The results of tests of nitrocemented samples made of 5KHNM and X12M steel are presented and the effect of low-temperature nitrocementation on the wear resistance and toughness of die steels is shown.

Keywords: die steels, low-temperature nitrocementation, nitrogen-carbon paste, wear resistance, impact strength.

УДК 669.539.382:669.17

СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ СОСТОЯНИЯ, ДЕФЕКТНАЯ СУБСТРУКТУРА И СВОЙСТВА ДЛИННОМЕРНЫХ РЕЛЬСОВ ПОСЛЕ ЭКСТРЕМАЛЬНО ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Кузнецов Роман Вадимович
(e-mail: mail@kuzmash.com)
Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк, Россия
***Юрьев Антон Алексеевич**, к.т.н.*
(e-mail: ant-yurev@yandex.ru)
АО «Евраз-ЗСМК»
г. Новокузнецк, Россия
***Громов Виктор Евгеньевич**, д.ф.-м.н., профессор*
(e-mail: gromov@physics.sibsiu.ru)
Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк, Россия
***Коновалов Сергей Валерьевич**, д.т.н., профессор*
(e-mail: konovalov@sibsiu.ru))
Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк, Россия

Методами оптической, сканирующей, просвечивающей электронной микроскопии, измерения механических свойств, выполнены исследования структурно-фазовых состояний, дислокационной субструктуры и свойств, сформированных в сечении головки на расстояниях 0, 2, 10 мм от поверхности по радиусу скругления выкружки и по центральной оси 100-метровых дифференцированно-закаленных рельсов после экстремально

длительной эксплуатации (пропущенный тоннаж с 2013 г. 1770 млн. тонн брутто).

Ключевые слова: структура, свойства, рельсы, эксплуатация, фазовый состав.

В связи с наметившейся в последние годы тенденцией возрастания скоростей и интенсивности железнодорожного транспорта в разряд актуальных задач выходит создание рельсов с высокими эксплуатационными характеристиками. Решение этой проблемы в России осуществляется с 2013 года путем производства длинномерных дифференцированно закаленных рельсов. Совершенствование технологии их производства возможно лишь при глубоком анализе механизмов формирования структуры, фазового состава и свойств и их эволюции при длительной эксплуатации. В этой связи совместный анализ структурно-фазовых состояний, дислокационной субструктуры и механических свойств в сечении головки рельсов после длительной эксплуатации представляется актуальным.

Целью является выявление физических механизмов упрочнения и установление закономерностей формирования структуры, фазового состава, дислокационной субструктуры, механических свойств по центральной оси и радиусу скругления выкружки головки длинномерных рельсов после экстремально длительной эксплуатации (пропущенный тоннаж 1770 млн. тонн).

Проведена классификация структурных состояний перлита на глубине 10 и более мм от поверхности катания и показано, что независимо от направления исследования (по радиусу скругления выкружки или вдоль центральной оси головки рельса) преимущественно присутствует структура пластинчатой морфологии (относительное содержание 0,70 и 0,74 при измерении вдоль центральной оси и радиусу скругления выкружки, соответственно) зерна вырожденного перлита и структурно свободного феррита. Скалярная плотность дислокаций вдоль центральной оси $<\rho>= 2{,}9\cdot10^{10}$ см$^{-2}$, вдоль радиуса скругления выкружки $<\rho>= 3{,}5\cdot10^{10}$ см$^{-2}$, а избыточной плотности дислокаций $\rho_{\pm} =2{,}08\cdot10^{10}$ см$^{-2}$, $\rho_{\pm} = 1{,}84\cdot10^{10}$ см$^{-2}$, соответственно, [1].

Проведен анализ распределения прочностных и пластических свойств и ударной вязкости по сечению головки, шейки и подошвы рельсов. Наиболее высокие прочностные характеристики отмечены на образцах из верхней части головки (870-880 МПа - $\sigma_т$ и 1270 МПа - $\sigma_в$). Выявлено снижение значений твердости HRC и микротвердости на глубинах 2,5, 10 и 22 мм по сравнению поверхностью катания по центральной оси и радиусу скругления выкружки, что является следствием преобразования структуры, фазового состава и дефектной субструктуры стали при длительной эксплуатации [2].

Выявлен градиентный характер изменения относительного содержания различных типов структуры (пластинчатый перлит: перлит разрушенный, вырожденный перлит (феррито-карбидная смесь); зерна перлита с пластинами феррита, содержащими наноразмерный цементит; зерна феррита с субмикрокристаллической зеренно-субзеренной структурой) вдоль центральной оси симметрии и радиуса скругления выкружки головки рельса. Дана физическая интерпретация образования типов структуры при длительной эксплуатации [3].

Значения скалярной $<\rho>$ и избыточной $\rho_{\pm}$ плотности дислокаций немонотонно убывают с удалением от поверхности катания по радиусу скругления выкружки и по центральной оси симметрии головки. Независимо от места анализа $<\rho>$ ниже величины $\rho_{\pm}$, что указывает на упругий характер изгиба-кручения решетки. Величина $\rho_{\pm}$, измеренная в поверхностном слое вдоль центральной оси и вдоль радиуса скругления выкружки более, чем в 2 раза превышает эту характеристика дефектной субструктуры, выявленную в слое на глубине 10 мм. Это свидетельствует о кратном увеличении внутренних упругих полей напряжение поверхностного слоя головки [4].

Сверхдлительная эксплуатация рельсов сопровождается существенным снижением объемной доли карбидной фазы в поверхностном слое головки (от 10,4% на расстоянии 10 мм по центральной оси до 4,5% на поверхности катания и от 9,6% до 3,1% по радиусу скругления выкружки, соответственно), что может быть обусловлено как обезуглероживанием поверхностного слоя, так и выходом атомов углерода на дефекты структуры стали. При этом данный процесс в поверхностном слое выкружки развит в значительно большей степени по сравнению с поверхностью катания [5].

Произведена оценка перераспределения атомов углерода в структуре рельсов и показано, что если в исходном состоянии основное содержание углерода соответствует частицам цементита (0,74% вес), то после эксплуатации уходит на дефекты структуры и его концентрация составляет 0,24% и 0,4% на поверхности катания и поверхности выкружки, соответственно. Проведена оценка суммарного предела текучести по разным направлениям в головке рельсов после различных сроков эксплуатации и дана физическая интерпретация наблюдаемого несоответствия в его изменении с увеличением пропущенного тоннажа [6].

Список литературы

1. Кузнецов, Р. В. Структурно-фазовое состояние и упрочнение рельсов после экстремально длительной эксплуатации / Р. В. Кузнецов, В. Е. Громов, Ю. Ф. Иванов, Ю. А. Рубанникова, В. Е. Кормышев, А. А. Юрьев, Н. А. Попова // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2021. – Т. 18. – № 3. – С. 328–337.

2. Кузнецов, Р. В. Эволюция структурно-фазовых состояний и свойств дифференцированно закаленных 100-метровых рельсов при экстремально длительной эксплуатации. Сообщение 5. Градиентные структурно-фазовые состояния по радиусу скругления головки рельсов после сверхдлительной эксплуатации / Р. В. Кузнецов, В. Е. Громов, Ю. Ф. Иванов, А. А. Юрьев, В. Е. Кормышев, Е. В. Полевой // Проблемы черной металлургии и материаловедения. – 2022. – №. 1. – С. 9–18.

3. Кузнецов, Р. Е. Градиенты структуры, фазового состава и дислокационной субструктуры рельсов при сверхдлительной эксплуатации / Р.Е. Кузнецов, В. Е. Громов, Ю. Ф. Иванов, В. Е. Кормышев, Ю. А. Шлярова, А. А. Юрьев // Известия Алтайского государственного университета. – 2022. – № 1. – С. 44–50.

4. Григорович, К. В. Формирование тонкой структуры перлитной стали при сверхдлительной пластической деформации / К. В. Григорович, В. Е. Громов, Р. В. Кузнецов, Ю. Ф. Иванов, Ю. А. Шлярова // Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки. –2022. – Т. 503. – С. 8–12.

5. Кузнецов, Р. В. Перераспределение атомов углерода в рельсах при сверхдлительной эксплуатации / Р. В. Кузнецов, О. А. Перегудов, В. В. Шляров // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2022. – Т.65. – № 2. – С. 134–136.

6. Громов, В. Е. Деформационное преобразование структуры и фазового состава поверхности рельсов при сверхдлительной эксплуатации / В. Е. Громов, Ю. Ф. Иванов, Р. В. Кузнецов, А. М. Глезер, Ю. А. Шлярова, О. А. Перегудов // Деформация и разрушение материалов. – 2022. – № 1. – С. 35–39.

Kuznetsov Roman Vadimovich
(e-mail: mail@kuzmash.com)
Siberian State Industrial University
Novokuznetsk, Russia
***Yuryev Anton Alekseevich**, Candidate of Technical Sciences*
(e-mail: ant-yurev@yandex.ru)
JSC "Evraz-ZSMK"
Novokuznetsk, Russia
***Gromov Viktor Evgenievich**, Ph.D., Professor*
(e-mail: gromov@physics.sibsiu.ru)
Siberian State Industrial University
Novokuznetsk, Russia
***Konovalov Sergey Valeryevich**, Doctor of Technical Sciences, Professor*
(e-mail: konovalov@ sibsiu.ru)
Siberian State Industrial University
Novokuznetsk, Russia

STRUCTURAL-PHASE STATES, DEFECTIVE SUBSTRUCTURE AND PROPERTIES OF LONG RAILS AFTER EXTREMELY LONG OPERATION

By methods of optical, scanning, transmission electron microscopy, measurement of mechanical properties, studies of structural-phase states, dislocation substructure and properties formed in the cross section of the head at distances of 0, 2, 10 mm from the surface along the radius of the fillet rounding and along the central axis of 100-meter differentially hardened rails after extremely long operation (passed tonnage since 2013 1770 million gross tons) are carried out.

Keywords: structure, properties, rails, operation, phase composition.

УДК 669.539.382:669.17

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ДЛИННОМЕРНЫХ РЕЛЬСОВ ПОСЛЕ ЭКСТРЕМАЛЬНО ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Кузнецов Роман Вадимович
(e-mail: mail@kuzmash.com)
Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк, Россия
***Юрьев Антон Алексеевич**, к.т.н.*
(e-mail: ant-yurev@yandex.ru)
АО «Евраз-ЗСМК»
г. Новокузнецк, Россия
***Громов Виктор Евгеньевич**, д.ф.-м.н., профессор*
(e-mail: gromov@physics.sibsiu.ru)
Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк, Россия
***Коновалов Сергей Валерьевич**, д.т.н., профессор*
(e-mail: konovalov@sibsiu.ru))
Сибирский государственный индустриальный университет
г.Новокузнецк, Россия

Методами оптической, сканирующей, просвечивающей электронной микроскопии, измерения механических свойств, выполнены исследования структурно-фазовых состояний, дислокационной субструктуры и свойств, сформированных в сечении головки на расстояниях 0, 2, 10 мм от поверхности по радиусу скругления выкружки и по центральной оси 100-метровых дифференцированно-закаленных рельсов после экстремально длительной эксплуатации (пропущенный тоннаж с 2013 г. 1770 млн. тонн брутто).

Ключевые слова: структура, свойства, рельсы, эксплуатация, фазовый состав.

В связи с наметившейся в последние годы тенденцией возрастания скоростей и интенсивности железнодорожного транспорта в разряд актуальных задач выходит создание рельсов с высокими эксплуатационными характеристиками. Решение этой проблемы в России осуществляется с 2013 года путем производства длинномерных дифференцированно закаленных рельсов. Совершенствование технологии их производства возможно лишь при глубоком анализе механизмов формирования структуры, фазового состава и свойств и их эволюции при длительной эксплуатации. В этой связи совместный анализ структурно-фазовых состояний, дислокационной субструктуры и механических свойств в сечении головки рельсов после длительной эксплуатации представляется актуальным.

Целью является выявление физических механизмов упрочнения и установление закономерностей формирования структуры, фазового состава,