

Вестник ТашИИТ № 1, 2016 г.

Содержание

РАЗДЕЛ – СТРОИТЕЛЬСТВО, ЭКСПЛУАТАЦИЯ И МЕТОДЫ РАСЧЁТА ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ 3

<i>Адълходжаев А.И., Махаматалиев И.М., Цой В.М.</i> О применении усовершенствованного метода математического планирования экспериментов для оптимизации состава бетонной смеси3	3
<i>Лесов К.С.</i> Управление научно-техническим прогрессом в строительстве8	8
<i>Мухамедгалиев Б.А., Мусаев О.М., Панжиев У.Р.</i> Разработка нового ионита для очистки сточных вод нефтегазовой промышленности 12	12
<i>Салиханов С.С.</i> Расчет самонапряженности конструкции мостового полотна “рамный контур – напрягающий бетон” 16	16
<i>Махаматалиев И.М.</i> О влиянии суперпластификатора Conplast SP430 на свойства бетонной смеси и бетона 19	19
<i>Абдукамилов Ш.Ш.</i> Экспериментальное изучение динамических процессов в железнодорожном земляном полотне из барханных песков 23	23
<i>Эргашев Ш.Ш.</i> Особенности расчета прямоугольных сорбционных фильтров с восходящим потоком 30	30

РАЗДЕЛ – МЕХАНИКА, МАШИНОСТРОЕНИЕ, МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ 33

<i>Абдусаттаров А., Собиров Н.Х., Шамсиев Д.Н.</i> О длительной прочности и повреждаемости вязкопластического цилиндра, скрепленного с тонкостенной оболочкой 33	33
<i>Каримов А.М.</i> Некоторые задачи дифракции упругих волн в композиционном материале периодической структуры 40	40
<i>Маткаримов А.Х., Хайдаров А.Х.</i> К решению задач подземных трубопроводов для некоторых вариантов нагрузки 43	43
<i>Дремова Н.В., Мурадов А.А.</i> О релаксационных свойствах напряжений и накопление повреждений в нити 48	48
<i>Набиев Э.С., Авдеева А.Н.</i> Анализ изменения температуры нагревания материала вагонного колеса при наплавке с учетом влияния скорости движения тепловых волн 53	53
<i>Губенко С.И., Иванов И.А., Кононов Д.П.</i> О проблеме образования коррозионных повреждений в колесной стали и железнодорожных колесах 57	57
<i>Мусаев О.М., Юткина И.С.</i> Дополнительный учет динамических вибраций в модели гидрофрикционного гасителя колебаний при вязкостном демпфировании 67	67

<i>Валиев М.Ш.</i>	
Оценка эффективности качества рабочего процесса тепловозного дизеля	72
<i>Якубов М.С., Болтаев О.Т.</i>	
Диагностика и модели отказов контактной подвески высокоскоростных магистралей	77

РАЗДЕЛ - ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ82

<i>Ибрагимов Н.Н., Хаджимухаметова М.А.</i>	
Моделирование оценки влияния различных факторов на сохранность качества свежих плодов и овощей при перевозке железнодорожным транспортом	82
<i>Копытенкова О.И., Арипов Н.М., Алиев О. Т., Курепин Д.Е.</i>	
Акустическое воздействие железнодорожного транспорта на человека и их методы снижения	88
<i>Светашев А.А.</i>	
Определение величин среднесуточных затрат вагоно-часов на накопление составов	91
<i>Бахрамов У.</i>	
Определение стохастических параметров потокораспределения в инженерных сетях	95
<i>Одамов У.О., Юсупов Д.Т., Ким М.В.</i>	
Анализ режимов энергопотребления АО "Ахангаранцемент"	99

РАЗДЕЛ - ПРОБЛЕМЫ И СУЖДЕНИЯ 105

<i>Одилхўжаев А.Э., Ражаббаев Р.Р.</i>	
Кадрларнинг меҳнат бозорига мослашувчанлигида таълим жараёни узлуксизлиги ва узвийлигини таъминлашнинг аҳамияти	105
<i>Абдувалиев А.А.</i>	
Техническое нормирование в Узбекистане	109

РАЗДЕЛ - ХРОНИКА 116

<i>Турсунов Ш.Э.</i>	
Иккиламчи ресусларни қайта ишлаш – атроф-муҳитни ҳимоя қилиш ҳақида	116
Информационное сообщение	120
"ТошТЙМИ ахбороти" журнаliga мақола топшириш қоидалари	121

УДК 629.421

О ПРОБЛЕМЕ ОБРАЗОВАНИЯ КОРРОЗИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ В КОЛЕСНОЙ СТАЛИ И ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОЛЕСАХ (ЧАСТЬ 1)

Губенко С.И., д.т.н., профессор, (НМетАУ)

Иванов И.А., д.т.н., профессор, (ПГУПС)

Кононов Д.П., к.т.н., доцент, (ПГУПС)

Введение. Обеспечение высокого качества железнодорожных колес, их надежности и долговечности требует всестороннего анализа механизмов формирования и изменения структуры и свойств материала колес не только в процессе производства, но также на послепроизводственных этапах при их хранении, транспортировке и эксплуатации в различных условиях. Такой анализ обуславливает необходимость системного подхода к исследованию свойств колесной стали в совокупности с комплексом параметров внешних сред. Эксплуатация железнодорожных колес осуществляется без эффективной противокоррозионной защиты. Увеличение воздействия агрессивных факторов окружающей среды вследствие влияния больших промышленных центров с каждым годом все больше обостряет вопрос о предупреждении коррозионных разрушений.

Поскольку все конструкционные металлы присутствуют в природе в химически связанном состоянии, в чистом виде они являются неустойчивыми. Чтобы получить их в чистом виде, приходится затрачивать немалую энергию. Обратный же процесс, в котором чистые металлы переходят в своё химически связанное состояние, всегда термодинамически выгоден, т.е. происходит самопроизвольно. Металлы при любой возможности стремятся вступить в реакцию со своим окружением и перейти в свою устойчивую форму. Этот процесс известен под названием коррозия [1].

Цельнокатаное железнодорожное колесо имеет сложную конструкцию, микроструктура стали в разных его элементах различна, а при эксплуатации, вследствие износа, происходят структурные изменения [2]. Состав и структура колесной стали являются одними из важных факторов, определяющих коррозионные процессы, протекающие в поверхностных слоях железнодорожных колес. Для разработки эффективных методов повышения коррозионного сопротивления, мероприятий по коррозионной защите железнодорожных колес необходимо исследовать механизм коррозионного разрушения колесной стали.

В процессе эксплуатации железнодорожных колес при одновременном воздействии атмосферы и напряжений от динамических нагрузок (коррозия под напряжением) часто происходит коррозионное разрушение стали. Участки коррозионного разрушения обнаруживают во всех элементах железнодорожных колес [3], причем часто они связаны с другими дефектами, возникающими в процессе эксплуатации. Исследования изношенных железнодорожных колес показали, что неметаллические включения как правило являются центрами зарождения коррозионных повреждений при их эксплуатации [4, 5]. Целью настоящей работы было изучение влияния структуры колесной стали, а также неметаллических включений на зарождение и развитие коррозионных повреждений, а также механические свойства в различных средах.

1 Материалы и методики исследований

Для изучения влияния состава стали и структурных изменений, происходящих в процессе эксплуатации, на скорость и механизм коррозии, из двух колес (1 и 2), проработавших 5 лет

под пассажирским составом, были вырезаны образцы с поверхности катания, из внутренней части тела обода и диска. От колес 3 и 4, не бывших в эксплуатации, непосредственно после термической обработки вырезали образцы с поверхности катания, т.е. из зоны закалки и из внутренних слоев тела обода. Химический состав сталей колес, из которых вырезали образцы для коррозионных испытаний, приведен в табл. 1. Затем были проведены макро и микроструктурные анализы очагов коррозии.

Таблица 1

Химический состав стали исследованных колес

Колесо №	Содержание элементов, %								
	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	V
1	0,59	0,72	0,34	0,025	0,012	0,14	0,15	0,20	-
2	0,65	0,79	0,36	0,027	0,010	0,13	0,18	0,18	-
3	0,61	0,78	0,30	0,029	0,024	0,17	0,15	0,16	-
4	0,46	1,04	0,47	0,024	0,018	0,09	0,11	0,18	0,10

Процессы коррозионного разрушения при хранении, транспортировке и эксплуатации развиваются довольно длительно, поэтому для испытаний в естественных условиях необходим большой промежуток времени (год и более). Для сокращения срока испытаний целесообразно применять ускоренные методы коррозионных испытаний, позволяющие, за счет создания более жестких условий, поддерживать постепенные условия опыта и за короткое время вызвать очевидное разрушение стали.

Ускоренные коррозионные испытания проводили при комнатной температуре (20...25 °С) в специальной камере во влажной атмосфере (относительная влажность 80...83%), содержащей 10 мг/м³SO₂, а также NO и NO₂. По мнению авторов работы [6], такие условия имеют наилучшее совпадение с действием промышленных атмосфер. Перед испытаниями образцы взвешивали, затем все грани, кроме одной, покрывали парафином. Определяли площадь открытой грани. После коррозионных испытаний парафин с граней удаляли, образцы взвешивали и определяли увеличение массы каждого образца. Рассчитывали положительные показатели скорости коррозии стали K₁ (г/м²) и K₂ (г/м²·ч). Продукты коррозии с поверхности образцов осторожно снимали механическим способом. Полученный порошок подвергали химическому анализу для определения состава оксидов.

Металлографические исследования проводили на шлифах, изготовленных перпендикулярно прокорродировавшей поверхности, с помощью оптического микроскопа «Неофот-21» и растрового электронного микроскопа JSM-35.

Исследование зарождения коррозионных повреждений вблизи неметаллических включений проводили на специально полученных плавках колесной стали, программно загрязненной различными типами включений (табл. 2): пл. 1 – сульфиды (Fe,Mn)S, FeS-MnS, пл. 2 – Al₂O₃, MnO·Al₂O₃, пл. 3 – SiO₂, MnO·SiO₂, FeO·SiO₂, пл.4 – TiCN. Процесс получения опытных сталей подробно описан в работе [5]. Содержание включений в опытных сталях было примерно одинаковым и составляло 0,5% об., что необходимо для корректного сопоставления результатов исследований и испытаний [5].

Таблица 2

Химический состав опытных плавок колесной стали

№ опытной плавки	Содержание элементов, %									
	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	Al	V
1	0,57	0,73	0,34	0,054	0,011	0,12	0,11	0,2	-	-
2	0,59	0,73	0,35	0,024	0,012	0,12	0,12	0,18	0,14	-
3	0,58	0,75	0,67	0,025	0,012	0,14	0,12	0,15	-	-
4	0,59	0,73	0,35	0,026	0,011	0,12	0,13	0,15	-	0,15

Применяли ускоренный метод испытаний склонности колесной стали к коррозионному растрескиванию, предложенный в работах [7, 8]: на установке ИМ-12 для испытаний на растяжение, снабженной приспособлением для использования жидкой коррозионной среды, проводили растяжение образцов со скоростью 1,8 мм/мин в средах, использованных ранее при испытаниях на малоцикловую усталость и представляющих собой 5%-ный водный раствор NaCl (среда 1) и 1%-ный водный раствор H₂SO₄ (среда 2) [5]. Для сравнения проводили такие же испытания в воздушной среде. Выбор коррозионных сред был обусловлен, с одной стороны, особенностями испытаний (необходима жидкая среда), с другой стороны, они в определенной степени имитировали среды, в которых работают железнодорожные колеса под действием осадков и загрязнений [5]. Испытания на усталостную прочность на воздухе и в средах 1 и 2 образцов $\varnothing 7,62$ мм проводили на машине типа НУ при базе $N = 3 \cdot 10^6$ циклов нагружений. Методики испытаний изложены в работе [9]. Испытаниям подвергали образцы колесной стали пл. 1-4, содержащие различные типы неметаллических включений и имеющие дисперсную феррито-перлитную структуру. Для каждого испытания использовали три образца, проводили статистическую обработку результатов.

2 Результаты исследований и их обсуждение

Известно, что к коррозионному растрескиванию склонны большинство металлов и сплавов, работающих под напряжением [7, 8]. Разрушение стали вследствие коррозионного растрескивания наиболее опасно, так как происходит внезапно (без заметной пластической деформации) при незначительной общей коррозии и напряжениях значительно ниже предела прочности. Такое разрушение возможно только при условиях одновременного воздействия на стальное изделие коррозионной среды и растягивающих напряжений от внешних нагрузок либо остаточных напряжений в изделии [7, 8].

2.1 Коррозионные повреждения в изношенных железнодорожных колесах

Проблема коррозионного разрушения железнодорожных колес привлекала внимание исследователей [10-12], которые отмечают важность этой проблемы с точки зрения влияния коррозионных процессов на надежность и долговечность железнодорожных колес при эксплуатации. Наиболее детально процессы коррозии в изношенных железнодорожных колесах изучены в работе [13], в которой определены зоны максимальных коррозионных повреждений – переходная зона обод-диск, выкружка (рис. 1), а также приведены результаты экспериментов на образцах колесной стали марки R7 в коррозионных средах. Изучали условия зарождения усталостных трещин, влияние продуктов коррозии как концентраторов напряжений, проводили механические испытания на усталостное разрушение. Предложено учитывать эффект остаточного поперечного сечения образцов после коррозионных испытаний, что обеспечивает получение скорректированного предела выносливости на прокорродированных образцах. Таким образом, показано ослабляющее действие коррозии на уровень механических свойств колесной стали, в частности в камере солевого тумана.

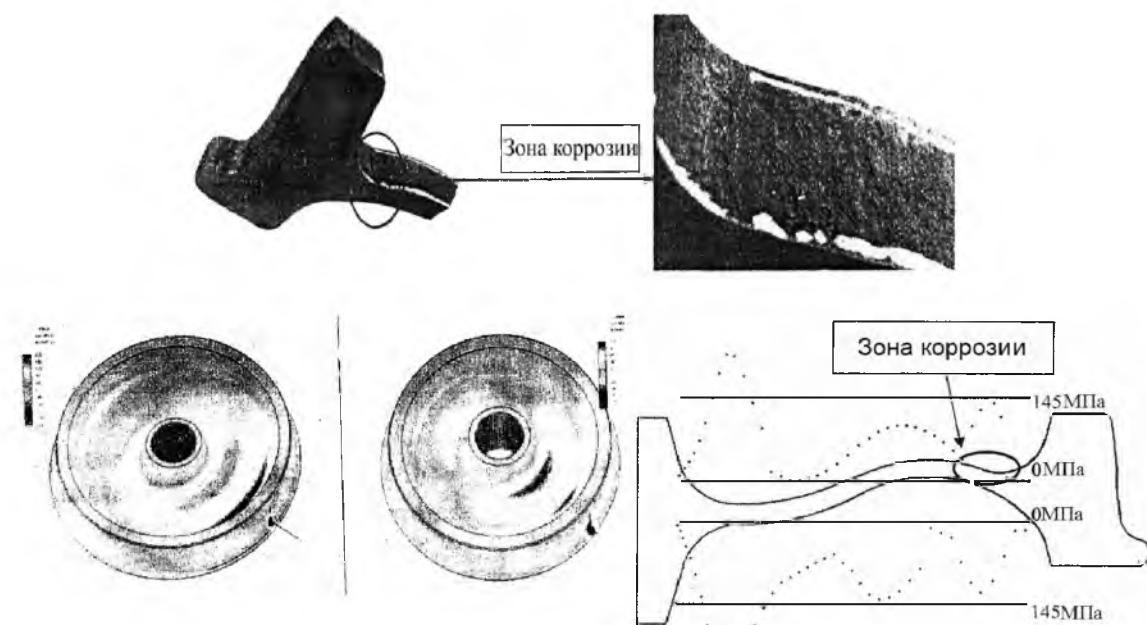


Рис. 1. Зоны коррозионных повреждений в изношенных колесах [13]

При исследовании железнодорожных колес, имеющих разный срок эксплуатации (от 1 года до 5 лет) были обнаружены многочисленные участки коррозионного повреждения (рис. 2). Коррозионные повреждения структуры стали происходят на всех этапах эксплуатации колес, в результате на их поверхности образуются неровности и раковины, заполненные оксидной фазой.

Глубина проникания коррозионных процессов в разных элементах колес с разным сроком эксплуатации различна, поскольку температурное поле в железнодорожном колесе в процессе эксплуатации неоднородно. Это обусловлено разогревом колеса при торможении, которое может быть длительным (со стороны колодки действует относительно небольшая нормальная сила, процесс торможения продолжается достаточно долго) и экстремальным (со стороны колодки действует максимальная сила, время торможения невелико). Условия длительного торможения периодически реализуются при эксплуатации, при этом колесо прогревается более или менее равномерно, т.е. градиенты температуры невелики и находятся в пределах 250...400 °С. При экстренном торможении наиболее интенсивно прогревается обод, особенно поверхность катания и его наружная часть, где температуры достигают 550...700 °С. В тонком слое поверхности катания температура может достигать 1000 °С, о чем свидетельствует наличие «белых слоев». Зона перехода обод-диск и предободная часть диска прогреваются до температур около 400 °С, средняя часть диска – примерно до 250 °С. Таким образом, торможение состава приводит к неоднородному распределению температуры по сечению колеса, причем реально в процессе эксплуатации торможение может происходить по разным режимам и это обуславливает довольно сложный характер термоциклических воздействий на колесо.

Во всех элементах колес с увеличением длительности эксплуатации увеличивается глубина проникания коррозионных процессов, причем наиболее сильному атмосферному воздействию подвержены обод, зона перехода обод-диск и предободная часть диска, где проявляется влияние тепловых напряжений. Очевидно, что условия эксплуатации железнодорожных колес

и структурное состояние стали оказывают влияние на глубину проникания коррозионных процессов, а значит, и на их скорость в разных элементах колеса. Следует ожидать влияние неоднородного распределения тепловых напряжений в колесе в процессе эксплуатации не только на глубину проникания коррозионного повреждения стали, но также на механизм образования оксидов коррозионного происхождения и состав оксидных фаз.

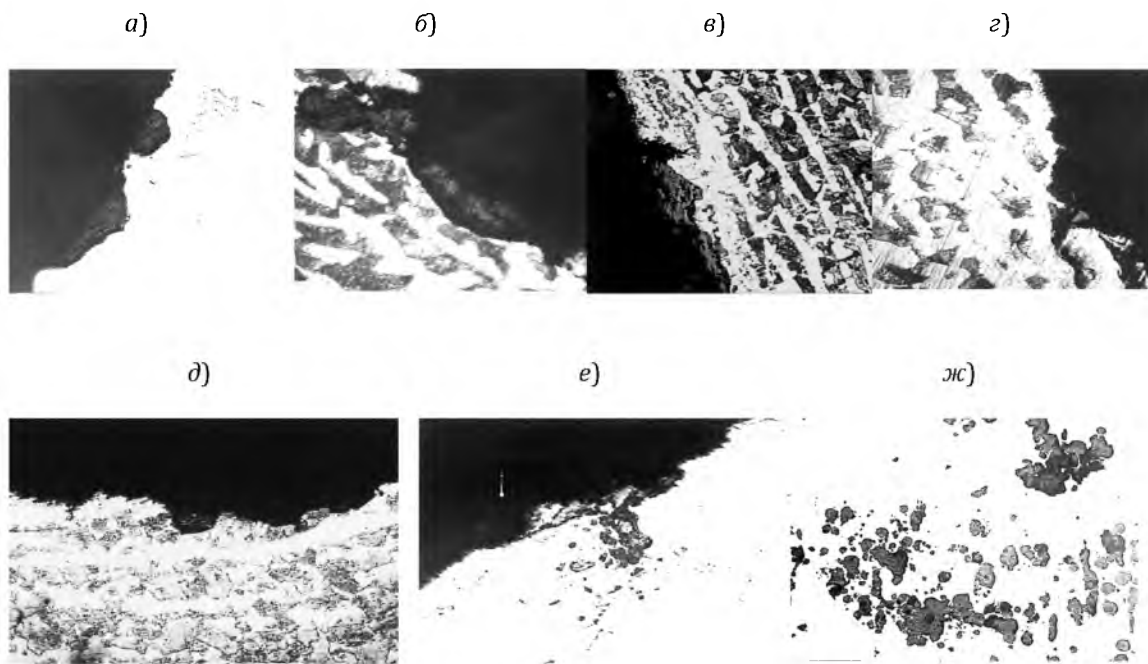


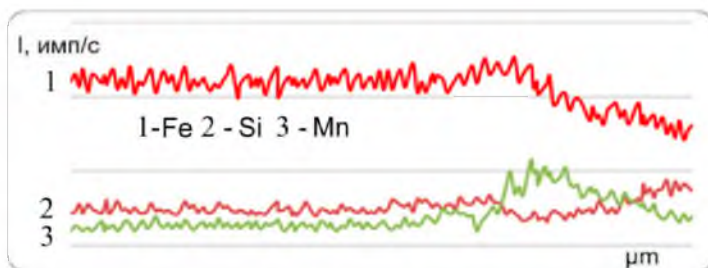
Рис. 2. Оксидные фазы коррозионного происхождения в разных элементах колес: боковая поверхность обода (а), зона перехода обод-диск (б) центральная часть диска (в), зона перехода диск-ступица (г), поверхность катания (д-ж); а, б, д, е – $\times 200$, в, ж – $\times 100$, з – $\times 500$

Исследовали фазовый состав продуктов коррозии, образовавшихся в разных элементах колес. Можно выделить две группы: однофазные и двухфазные продукты коррозии, причем последние имеют слоистую микроструктуру, с наличием дисперсной второй фазы сочетающие слои с дисперсными фазами в оксидной матрице. Однофазные продукты коррозии представляют собой оксиды железа, содержащие также марганец и кремний. Содержание марганца увеличивается, а кремния – уменьшается при удалении от поверхности колеса (рис. 3, а).

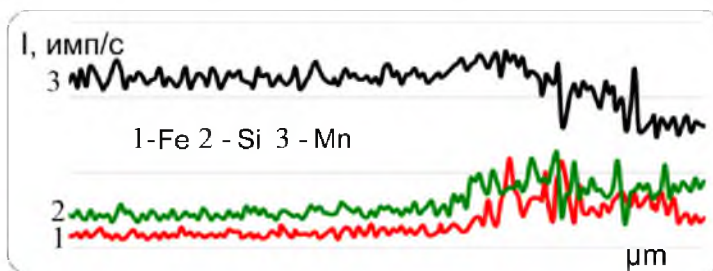
Выполнен петрографический анализ продуктов коррозии. Установлено, что базовыми оксидами в ободе, переходной части обод-диск и предободной части диска чаще всего являются Fe_2O_3 , реже – FeO , Fe_3O_4 . Оксид Fe_2O_3 чаще присутствовал в виде метастабильной γ -модификации, являясь, очевидно, продуктом окисления при температурах ниже 350°C образовавшихся при более высоких температурах первичных оксидов FeO и Fe_3O_4 . Оксиды FeO и Fe_3O_4 как самостоятельные продукты коррозии встречались редко. Известно, что оксид FeO при температурах ниже 560°C превращается в Fe_3O_4 и α -железо, но при резком охлаждении он может частично сохраняться при низких температурах в метастабильном состоянии. Стабильный оксид

α -Fe₂O₃ (самый низкотемпературный оксид железа, содержащий марганец), присутствовал чаще в наименее разогреваемых зонах колеса – диске (кроме его предободной части), переходной части диск-ступица и ступице (табл. 3).

а)



б)



в)

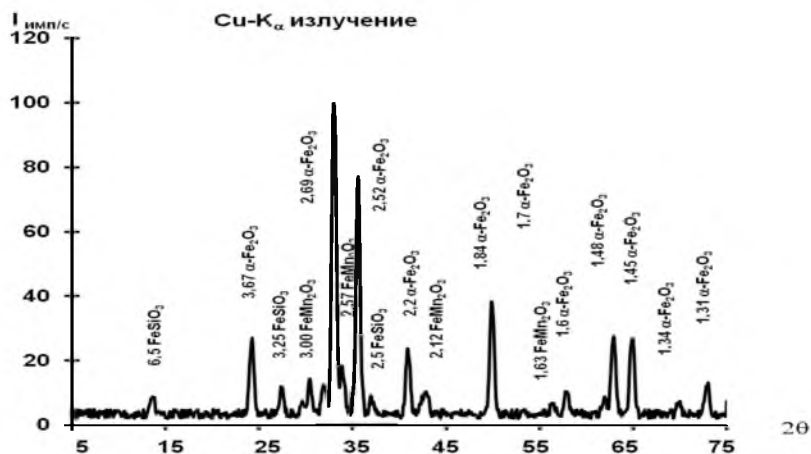


Рис. 3. Распределение химических элементов в оксидных фазах коррозионного происхождения (а, б) и фазовый состав продуктов коррозии колесной стали (в)

На поверхности катания колеса, где температуры могут достигать 700 и даже 1000 °С, обнаружены продукты коррозии, имеющие сложную структуру: на поверхности – тонкий слой Fe_2O_3 , глубже – слой с оксидной матрицей FeO, содержащей марганец и кремний с дисперсными частицами Fe_3O_4 , $MnO \cdot Fe_2O_3$ и силиката $2FeO \cdot SiO_2$ (рис. 3, б, в). Такие же оксидные формирования встречались на боковой поверхности обода (табл. 3).

В зоне перехода обод-диск и предободной части диска колеса верхний слой продуктов коррозии либо представлял собой оксид Fe_2O_3 , содержащий марганец и кремний, а второй слой имел оксидную матрицу FeO, содержащую марганец и кремний с дисперсными частицами Fe_3O_4 , $MnO \cdot Fe_2O_3$ и силиката $2FeO \cdot SiO_2$; либо присутствовал один слой продуктов коррозии с оксидной матрицей FeO, содержащей марганец и кремний с дисперсными частицами Fe_3O_4 , $MnO \cdot Fe_2O_3$ и силиката $2FeO \cdot SiO_2$ (табл. 3). В пределах всех обнаруженных слоев оксидных формирований содержание марганца увеличивается, а кремния – уменьшается при удалении от поверхности (рис. 3, б).

По нашему мнению, выявленное разнообразие структуры и фазового состава продуктов коррозии обусловлено не только неоднородным распределением температуры по сечению колеса в процессе эксплуатации, но и цикличностью теплового нагружения разной интенсивности, вызывающего образование новых фаз и фазовые превращения в уже возникших оксидных фазах. Кроме того, очевидным является влияние структурного состояния колесной стали на глубину проникания коррозионных повреждений.

Таблица 3

Продукты коррозии колесной стали в разных элементах изношенных железнодорожных колес

Место анализа	Продукты коррозии
Поверхность катания	γ - Fe_2O_3 (следы Mn); (Fe, Mn)O; Fe_3O_4 Mn; слой Fe_2O_3 (с Mn и Si) + слой FeO с дисп. Fe_3O_4 , $MnO \cdot Fe_2O_3$ и $2FeO \cdot SiO_2$; слой FeO (с Mn и Si) + слой FeO с дисп. Fe_3O_4 , $MnO \cdot Fe_2O_3$ и $2FeO \cdot SiO_2$; слой FeO дисп. Fe_3O_4 , $MnO \cdot Fe_2O_3$ и $2FeO \cdot SiO_2$
Боковая поверхность обода	γ - Fe_2O_3 (следы Mn); (Fe, Mn)O; Fe_3O_4 Mn; слой Fe_2O_3 (с Mn и Si) + слой FeO с дисп. Fe_3O_4 , $MnO \cdot Fe_2O_3$ и $2FeO \cdot SiO_2$; слой FeO (с Mn и Si) + слой FeO с дисп. Fe_3O_4 , $MnO \cdot Fe_2O_3$ и $2FeO \cdot SiO_2$; слой FeO дисп. Fe_3O_4 , $MnO \cdot Fe_2O_3$ и $2FeO \cdot SiO_2$
Переходная зона обод-диск	γ - Fe_2O_3 (следы Mn); (Fe, Mn)O; Fe_3O_4 Mn; слой Fe_2O_3 (с Mn и Si) + слой FeO с дисп. Fe_3O_4 , $MnO \cdot Fe_2O_3$ и $2FeO \cdot SiO_2$; слой FeO дисп. Fe_3O_4 , $MnO \cdot Fe_2O_3$ и $2FeO \cdot SiO_2$
Предободная часть диска	γ - Fe_2O_3 (следы Mn); (Fe, Mn)O; Fe_3O_4 Mn; слой Fe_2O_3 (с Mn и Si) + слой FeO с дисп. Fe_3O_4 , $MnO \cdot Fe_2O_3$ и $2FeO \cdot SiO_2$; слой FeO дисп. Fe_3O_4 , $MnO \cdot Fe_2O_3$ и $2FeO \cdot SiO_2$
Диск	α - Fe_2O_3 (следы Mn и Si)
Переходная зона диск-ступица	α - Fe_2O_3 (следы Mn и Si)
Ступица	α - Fe_2O_3 (следы Mn и Si)

Условно участки колеса можно разделить на области с разными температурными условиями образования коррозионных повреждений (по аналогии с условиями пластической деформации):

- поверхность катания – горячая, теплая, холодная области;
- обод, зона перехода обод-диск, предободная часть диска – теплая, холодная области;
- диск, зона перехода диск-ступица, ступица – холодная область.

Очевидно, что самые благоприятные температурные и структурные условия для развития коррозионных процессов имеет поверхность катания.

Однако, эти процессы неблагоприятны для самой поверхности катания, в первую очередь, потому что новые фазы изменяют условия контактного взаимодействия в системе колесо-рельс. В ободке, зоне перехода обод-диск, в предободной части диска, также наблюдается разнообразие продуктов коррозии и их структурных особенностей. В наименьшей степени подвержены коррозионным повреждениям зона перехода диск-ступица и ступица колеса.

В процессе эксплуатации в колесах возникают различного рода дефекты, при этом поверхность трещин и расслоений, как правило, покрыта слоем продуктов коррозии (рис. 4). Возникающие в разных участках поверхности колеса несплошности задерживают влагу и загрязнения. Кроме того «свежая» поверхность, содержащая ямки, ступеньки скола и т. д., является благоприятной для развития адсорбционных и окислительных процессов. Развитие адсорбционных и коррозионных процессов на поверхности трещин способствует прониканию коррозионных процессов на большую глубину.

Поскольку, на всех этапах эксплуатации железнодорожное колесо находится в соприкосновении с коррозионно-активной внешней средой, в нем развиваются коррозионно-усталостные процессы, также способствующие образованию коррозионных повреждений. Участки таких повреждений на поверхности колеса представляют собой своеобразные «язвы», заполненные оксидными фазами. Объем этих фаз, как правило, превышает объем металла, что способствует возникновению и концентрации в них расклинивающих напряжений. В соответствии с электрохимической теорией коррозионной усталости, на дне этих «язв» вследствие концентрации напряжений возникает более положительный потенциал, чем в металле вблизи их стенок или вблизи внешней поверхности колеса. Поэтому дно «язв» становится анодным участком, что способствует дальнейшему окислению стали и росту этого повреждения. Под влиянием циклического нагружения колеса величина напряжения может стать выше предела прочности колесной стали при этом образуется усталостная трещина. Таким образом, коррозионный процесс провоцирует развитие усталостных трещин.



Рис. 4. Окисленная поверхность трещин в ободьях колес; x200

В свою очередь, развитие коррозии на поверхностях усталостных трещин вызывает дополнительные напряжения расклинивающего характера, что способствует росту трещин. Количество продуктов коррозии на поверхности усталостных трещин увеличивается в процессе эксплуатации колеса. Это увеличение зависит от агрессивности среды и структурного состояния колесной стали. Очевидно, интенсивность коррозионного процесса внутри усталостных трещин со временем снижается, а значит, уменьшается интенсивность роста коррозионных напряжений.

Как показали исследования, в процессе эксплуатации железнодорожных колес происходит коррозия на всей его поверхности. Между отдельными участками поверхности колеса [14] создается разность потенциалов, способствующая возникновению коррозионных элементов. Образование разности потенциалов может быть связано с рельефом поверхности, а также с наличием структурной неоднородности и неметаллических включений. Начинается коррозия с формирования на поверхности вначале мономолекулярного, а затем полимолекулярного адсорбционного (хемосорбционного) слоя кислорода. На отдельных участках этого слоя с высокой энергией связи в процессе поверхностной диффузии образуются молекулярные агрегаты металл-кислород, которые в последующем периоде образования зародышей оксидов (в виде пленки или отдельных очагов) трансформируются в центры образования оксидов.

Атомы кислорода перемещаются от поверхности вглубь образца колесной стали и при образовании связи металл-кислород исходной кристаллической решетке возникают искажения. Рост локальных искажений приводит к перестройке решетки твердого раствора (феррита) либо цементита (входящего в состав перлита) в решетку оксида. Вновь образовавшаяся решетка сильно искажена вследствие высокой концентрации кислородных вакансий и необходима диффузия атомов (ионов) кислорода для заполнения всех вакантных узлов в решетке возникшего оксида.

Для начальных стадий окисления характерно развитие дискретных центров кристаллизации первичного оксида, а не равномерное его формирование по всей поверхности металла. Число, размеры и распределение центров образования первичного оксида зависят от режима процесса, но в наших опытах, проходивших в одних и тех же условиях, они зависят от состава и структурного состояния колесной стали. Процесс образования первичного оксида, начинающийся с поверхности образца, распространяется вглубь либо продвижением сплошного фронта, либо и чаще по «каналам», которыми являются границы зерен феррита и перлита, субзерен и межфазные границы, неметаллические включения, зоны деформации. От прокорродированных участков могут распространяться хрупкие трещины, на дне которых локализуются растягивающие напряжения и происходит хрупкое разрушение стали. Одновременно протекают процессы гидратации первичных оксидов, приводящие к образованию гидроокиси или гидратированного соединения на отдельных участках.

Коррозия опасна с точки зрения надежности и долговечности железнодорожных колес. По данным работы [15], при испытаниях на воздухе время, необходимое для зарождения усталостной трещины на поверхности, может составлять до 90% общей долговечности, но протекание коррозионных процессов способствует сокращению этого времени на порядок. Химическая энергия, высвобождающаяся в результате коррозионных процессов, может сократить эффективную поверхностную энергию, необходимую для зарождения трещины.

В значительной мере прочностные и эксплуатационные свойства железнодорожных колес зависят от процессов, идущих в их приповерхностных слоях. Износостойкость поверхности катания колеса при трении во многом зависит от структурного состояния поверхности. Образование оксидов на поверхности катания вследствие коррозии изменяет ее свойства. Появляется граница раздела сталь-оксид, у которой вследствие разности модулей упругости и коэффициентов термического расширения материалов возникают напряжения. При этом в случае слабой адгезии оксидной пленки с металлом можно ожидать реализацию межфазного сдвига и образование дислокаций (типа дислокаций несоответствия). В случае сильной адгезии оксида с металлом, из-за возникающей локальной концентрации напряжений, может быть реализована конденсационная модель зарождения дислокационных петель при перенасыщении вакансиями [16]. Последний механизм образования дислокаций характерен для условий циклического приложения нагрузки. Генерирование дислокаций в поверхностных слоях способствует развитию пластических сдвигов [2], что и наблюдали в тонком слое металла вблизи поверхности катания.

Литература

1. Ангал Р. Коррозия и защита от коррозии. Пер. с англ.: Учебное пособие / Р. Ангал – 2-е изд. – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2014. – 344 с.
2. Воробьев А.А., Губенко С.И., Иванов И.А. и др. Ресурс и ремонтпригодность колёсных пар подвижного состава железных дорог. М.: ИНФРА-М, 2011. – 264 с.
3. Губенко С.И., Пинчук С.И., Белая Е.В. Влияние структурного состояния колесной стали на развитие коррозии. *Металлургическая и горнорудная промышленность*, 2009, №2, с. 69-73.
4. Губенко С.И. Некоторые структурные аспекты колесной стали, определяющие качество железнодорожных колес. Кушнарев А.В., Багатов А.А., Губенко С.И. и др. В кн. *Современные технологии производства транспортного металла*. Россия, Нижний Тагил, из-д. НМТК, 2008, 394 с. (с. 88-113).
5. Губенко С.И., Пинчук С.И., Белая Е.В. Исследование влияния неметаллических включений на коррозионное поведение колесной стали. *Металлургическая и горнорудная промышленность*, 2011, №7, с.70-74
6. Тодт Ф. Коррозия и защита от коррозии. Л.: Химия, 1967, 487с.
7. Карпенко Г.В., Василенко И.И. Коррозионное растрескивание сталей. К., Техника, 1971, 191с.
8. Степуренко В.Т. Об ускоренном методе определения склонности металла к коррозионному растрескиванию. В сб. *Влияние рабочих сред на свойства стали*. Вып. 1, изд-во АН УССР, К., 1961, с. 51-58.
9. Карпенко Г.В. Влияние активных жидких сред на выносливость сталей. К., изд. АН УССР, 1955, 206с.
10. Ю.Н. Таран, С.И. Губенко, В.П. Есаулов. Исследование коррозии колёсной стали. *Известия вузов. Чёрная металлургия*. – 1989. – № 6. – 103-107.
11. Ю.Н. Таран, С.И. Губенко, В.П. Есаулов, Д.Ф. Шульга. Влияние структурных изменений вблизи поверхности катания железнодорожных колёс на скорость коррозии стали. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 1989. – № 4. – С. 27-29.
12. Ю.Н. Таран, В.П. Есаулов, С.И. Губенко. К вопросу о коррозии железнодорожных колёс. *Проблемы металлургического производства*. – 1992. – Вып. 107. – С. 111-115.
13. Beretta S. M., Carboni, L., Conte A. Impact of corrosion upon fatigue properties of a steel. The 15-th International Wheelset Congress (October 2007). – Praga. Chesh. Repub. – 2007. – P. 294-300.
14. Рябченков А.В., В.М. Никифорова. Коррозия и защита металлов в машиностроении. М.: МАШГИЗ, 1959. – 41 с.
15. Рябченков А.В., В.М. Никифорова О механизме коррозионного растрескивания аустенитных сталей. *Металловедение и термическая обработка металлов*. – 1956. – № 8. – С. 9-11.
16. Parkins R.N. Some Electrochemical aspects of the mechanisms of corrosion fatigue. *Metall Science*. – 1979. – V. 13. – Issue 7. – P. 381-386.

Аннотация

Обсуждается проблема коррозионного разрушения железнодорожных колес в процессе эксплуатации. Исследовано влияние неметаллических включений на склонность колесной стали к коррозионному растрескиванию и усталостную прочность в коррозионных средах. Установлен и обоснован последовательный ряд, показывающий степень вредного влияния включений на механические характеристики колёсной стали в коррозионных средах.

Summary

Discusses the problem of corrosion damage of railway wheels in operation. The influence of nonmetallic inclusions on the tendency of wheel steel to stress corrosion cracking and fatigue strength in corrosive environment. Installed and grounded the serial number showing level of the harmful effects of inclusions on the mechanical characteristics of wheel steel in corrosive environments.