

УДК 669.1.017

ВЛИЯНИЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННУЮ СТОЙКОСТЬ РЕЛЬСОВ

Скобло Т.С. д.т.н., профессор, Сапожков В.Е. к.т.н.,
Сидашенко А.И. к.т.н., профессор

*(Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства
имени Петра Василенко)*

Рассмотрено влияние способов производства рельсов на качество металла и склонность его к повреждаемости. Оценено влияние типа, состава и размеров неметаллических включений на развитие усталостной их повреждаемости в процессе эксплуатации, в том числе при различных нагрузках. Установлено влияние структуры и физико-механических свойств на повреждаемость рельсов.

Ужесточение условий эксплуатации рельсов в последние десятилетия, несоблюдения норм наработки и несоответствия прочностных свойств условиям их эксплуатации привели к высокому выходу их из строя отдельных рельсов по дефектам контактно-усталостного характера.

Многолетними наблюдениями и проведенными исследованиями специалистами УкрНИИМет и ВНИИЖТ МПС установлено, что с ростом осевых нагрузок увеличиваются местные контактные напряжения и напряжения от изгиба, в результате чего ускоряется образование и развитие повреждений. При увеличении средней осевой нагрузки только на 10 кН (~ 4%), при прочих равных условиях интенсивность отказов рельсов по усталостным повреждениям возрастает на 8-15%. Ряд зарубежных специалистов, также считает, что с повышением осевых нагрузок срок службы рельсов существенно сокращается. Так, согласно исследованиям, проведенным китайскими специалистами, установлено, что повышение осевых нагрузок с 18 до 21,6 и 25 тс срок службы рельсов сокращается соответственно на 66 и 86%, в связи, с чем было принято решение не вводить нагрузку на ось 25 тс на магистральных железных дорогах.

В связи с изложенным, в странах СНГ и за рубежом работают над повышением срока службы рельсов путем повышения качества стали и получения высокого комплекса ее физико-механических свойств и параметров конструкционной прочности. Для этого проводят поиски улучшения качества рельсовой стали стандартного состава, а также разрабатывают перспективные составы рельсовой стали, легированных и модифицированных эффективными элементами, а также новейшие способы их термообработки.

В условиях растущих осевых нагрузок и увеличения грузоподъемности повышаются требования к структурной однородности рельсовой стали, а

именно, чистоте ее по неметаллическим включениям. Доказано, что в ряде случаев разрушения от усталости в головке рельсов локализируются в местах сосредоточения крупных и комплексных включений окисного и сульфидного типов. Наиболее опасными являются включения, имеющие малый коэффициент термического расширения (глинозем, шпинели). Они вызывают более высокие напряжения и значительно снижают усталостную прочность стали. Наиболее неблагоприятными являются недеформируемые оксиды сложного состава, а также включения оксидов алюминия. Поэтому, для получения качественной стали с отсутствием или малым наличием неметаллических включений необходимо при внепечной обработке применять эффективные раскислители и модификаторы, уменьшающие содержание кислорода, азота, водорода и способствующие получению минимального количества кислородосодержащих включений, а также включений минимальных размеров по форме, близкой к глобулярной или овальной.

Целью работы является анализ влияния неметаллических включений на качество рельсов при их производстве и эксплуатации.

Кратко представим технологию производства рельсовой стали в мартеновских печах.

В Украине на ЧАО МК «Азовсталь» рельсовую сталь выплавляют скрап-рудным методом в 440-тонных качающихся мартеновских печах, где до 1989 г перерабатывали фосфористый чугун Керченского месторождения, содержащий 1,5% *P* и 0,1-0,16% *As*. В настоящее время металлургический комбинат перешел на производство чугуна из криворожских руд.

Сталь обрабатывают аргоном путем продувки, а также шлакообразующейся смесью. Для интенсификации плавки подают кислород через фурмы. В качестве окислителя в завалку подают криворожскую руду, содержащую, примерно 15% *SiO₂*.

Раскисление рельсовой стали осуществляют: предварительное - в печи *FeMn*, а окончательное – в ковше 65% *FeSi* и *SiMn*, а также кремний-магний-титановой лигатурой (КМТ). Разливку стали осуществляют в 2 ковша, а затем в изложницы.

Начиная с 1998 г., разливку стали в изложницы осуществляют с массой слитка 8 и 10 т сифонным способом, который имеет преимущество перед разливкой сверху, за счет улучшения макроструктуры рельсов. К тому же, рельсы из разлитой стали сифонным способом меньше поражены дефектами сталеплавильного производства (плены, рванины, трещины).

Химический состав рельсовой стали стандартного состава приведен в табл. 1.

Таблица 1. Химический состав анализируемых сталей

Стандарт	Марка стали	Обозначение компонентов, %							
		<i>N</i>	<i>Mn</i>	<i>Si</i>	<i>V</i>	<i>Ti</i>	не более		<i>Al</i>
							<i>P</i>	<i>S</i>	
ДСТУ 4344--2004	М76	0,71-0,82	0,80-1,3	0,25-0,45	-	-	0,035	0,40	
Рельсы типа Р65	М76 Ф	То же	То же	То же	0,03-0,07	То же	То же	То же	≤ 0,025
	М76 Т	То же	То же	То же	То же	0,007-0,025	То же	То же	

Из сталей данного химического состава в зависимости от физико-механических свойств и ее чистоты по неметаллическим включениям изготавливают рельсы четырех категорий: высшая, I, II и III. Рельсы высшей, I и II категорий подвергают поверхностной закалке головки с индукционного нагрева токами высокой частоты.

Неметаллические включения в стали бывают двух видов: эндогенные и экзогенные, которые образуются в результате химических реакций при выплавке стали, раскислением, а также в результате вторичного окисления при контактировании струи расплавленного металла с атмосферой при разливке стали относятся к эндогенным.

Неметаллические включения представляют собой частицы, различных соединений, содержащихся в шихтовых материалах. Это куски шлака, не всплывшие на поверхность жидкой стали, а также огнеупоров, которыми футерован ковш и желоба (относятся к экзогенным).

Все неметаллические включения нарушают сплошность металла и снижают его качество. Однако, вредное влияние их на работоспособность рельсов неодинакова и в большей степени зависит от природы, формы, величины и взаимного расположения неметаллических включений.

В рельсовой углеродистой стали стандартного состава мартеновского производства, раскисленной кремний-магний-титановой лигатурой (КМТ) и феррованадием (FeV) марок М76Т, М76В и М76ВТ (табл. 1) имеет место наличие следующие неметаллические включения: сульфиды марганца и железа (FeS, MnS), вытянутые вдоль направления прокатки; пластичные оксиды смешанного состава (SiO_2, Al_2O_3), а также кварц, нитриды титана в виде отдельных включений или нитридов ванадия; хрупкоразрушенных оксидов неправильной и правильной прямоугольной формы в виде скоплений; силикатов пластинчатых, вытянутых в виде единичных включений, сульфосиликатов округлой формы в виде отдельных включений и окисульфидов, состоящих из сульфидов, сложных оксидов и нитридов титана или ванадия в виде единичных включений.

Содержание сульфидов в стали прямо пропорционально содержанию в ней серы (S). В реальных условиях производства стали они не превышают 3 балла, при допустимой норме не более 5 балла.

Оксиды состоят из окислов алюминия (глинозем) и окислов кремния (кремнезем). При прокатке слитков на рельсы глиноземные включения не деформируются, а дробятся на мелкие фрагменты в виде вытянутых строчек. В реальных условиях производства стали они не превышают 3-4 балла.

Силикаты в рельсах стандартного производства встречаются относительно редко, и в частности, при раскислении рельсовой стали силикокальцием ($SiCa$), которые становятся основным видом неметаллических включений и состоят из окислов кальция, кремния и алюминия (Ca, Si, Al) соответственно.

Наряду с обеспечением в закаленных рельсах оптимального комплекса

физико-механических свойств и параметров конструкционной прочности важным является чистота рельсов стали по неметаллическим включениям, а также их форма и характер распределения. Особенно опасны цепочки неметаллических включений, так как они создают в металле локальные области весьма высокой концентрации и напряжений. В подобной ситуации возможно образование зародышей хрупкого повреждения рельсов, что связано с релаксацией опасных пиковых микронапряжений. При этом, одновременно сильно падает запас пластичности и вязкости металла, возникает вероятность появления и резкое возрастание хрупких разрушений.

Таким образом, сопротивление распространению контактно-усталостных и хрупких повреждений является функцией не абсолютных значений прочности, а - структуры стали и ее чистоты по неметаллическим включениям. С этих позиций важным является изучение и решение тех путей и направлений, благодаря которым достигается тот или иной уровень прочности (твердости). Это свидетельствует о значительном влиянии неметаллических включений на хрупкое разрушение при неблагоприятном их распределении в металле, особенно в зоне зарождения продольной усталостной трещины. Форма и характер их распределения в стали зависят от технологии ее выплавки и разливки; сверху в изложницы, сифонным и непрерывным способами; использованием внепечной обработки (вакуумирования, синтетическими шлаками; продувки аргоном) и раскисление эффективными элементами: ванадием и титаном. Получение в стали включений близких к глобулярной форме, а также плотной и однородной структуры металла с малым межпластиночным расстоянием и мелким зерном аустенита металла закаленного слоя головки рельса – один из основных технологических факторов повышения их эксплуатационной стойкости.

Согласно данным ВНИИЖТ МПС, степень влияния неметаллических включений на прочность стали определяется двумя факторами:

- химическим составом, кристаллическим строением, механическими и физическими свойствами;
- количеством, размерами, формой, расположением включений и их ориентацией относительно действующих напряжений.

В наибольшей мере на контактно-усталостную и усталостную прочность стали влияют скопления части оксидов, которые после прокатки вытягиваются в строчки.

Для получения качественной рельсовой стали по неметаллическим включениям и газам применяют следующие технические и технологические приемы: обработку стали синтетическими шлаками, внепечное вакуумирование в жидком состоянии.

Важной ролью в обеспечении чистоты рельсовой стали по неметаллическим включениям является совершенствование технологии раскисления ее путем применения комплексного ферросплава, содержащего ванадий и титан

Для повышения металлургического качества рельсовой стали были проведены научно-исследовательские работы УкрНИИМетом и УралНИИЧМетом, а также всеми рельсопрокатными комбинатами, в результате чего было изучено около 20 вариантов раскисления стали.

Способы раскисления, к которым относилось раскисление одним химическим компонентом, например силикокальцием ($SiCa$), в какой-то мере позволили изменить природу оксидных включений по сравнению с - одним алюминием (Al), но это привело к тому, что все включения: корунд, окислы кремния, кальция и алюминия сцементировались между собой в прочные конгломераты силикатной оболочкой. Кроме того, увеличилась крупнозернистость и уменьшилась дисперсность структуры стали, а также понизились прочностные характеристики, что привело к снижению эксплуатационной стойкости рельсов.

Наилучшие результаты показало комплексное раскисление стали силикокальцием и феррованадием без алюминия. В этом случае отсутствовали сегрегированные включения алюмосиликатов, измельчалось зерно и повысились механические свойства за счет ванадия. При этом, длина оксидных неметаллических включений уменьшилась в 2-3 раза, а предел прочности повысился на 50-60 Н/мм².

Хотя эксплуатационные и полигонные испытания рельсов из стали, раскисленной силикокальцием и феррованадием прошли успешно, однако при промышленном опробовании такого способа раскисления выявился ряд существенных недостатков. Прежде всего, легированный силикокальций ухудшал санитарные условия в сталеплавильном цехе из-за склонности к саморассыпанию и значительному пыле- и газовойделению. В связи с этим, УкрНИИМет и Челябинский электрометаллургический комбинат разработали новый ферросплав $FeSiCaV$ (ФвдКС). Этот ферросплав отличался хорошими технологическими свойствами.

Из стали, раскисленной комплексным сплавом ФвдКС, были изготовлены на КМК и уложены в путь на участках с особо сложными условиями эксплуатации (средние осевые нагрузки 175 кН, грузонапряженность более 100 млн т брутто, кривые радиусом 290-650 м).

В этих условиях рельсы до образования контактно-усталостных повреждений пропустили 510 млн. т брутто.

В конце 80-х годов на НТМК и МК «Азовсталь» началось промышленное внедрение нового технологического процесса выплавки рельсовой стали с использованием комплексных раскислителей, содержащих кремний, магний и титан – лигатура КМТ, а также кремний, кальций и цирконий – СКЦр. Эти рельсы характеризовались отсутствием строчек глинозема и более благоприятным распределением неметаллической фазы в объеме металла.

На основании результатов обширных эксплуатационных испытаний (более 10 тысяч километров) установлено, что применение комплексных раскислителей ФвдКС, КМТ и СКЦр обеспечивает увеличение эксплуатационной стойкости

термоупрочненных рельсов по сравнению с сырыми в 2,25; 1,87 и 1,87 раза соответственно [1, 2].

На меткобинате «Азовсталь» мартеновскую сталь раскисляют и модифицируют феррованадием и КМТ лигатурой.

Согласно стандарту ДСТУ 4344-2004, в рельсовой стали марки М76Ф содержание ванадия ограничивается предельными значениями 0-,03-0,07%. Раскислительная способность ванадия уступает кремнию и лишь немного превышает марганец. По сродству к азоту ванадий можно приравнять к алюминию и титану. Поскольку в мартеновской стали всегда присутствует азот, то часть ванадия всегда находится в виде нитрида ванадия. Характерной особенностью нитрида ванадия является то, что он начинает растворяться в аустените при температуре 950-980° и практически весь переходит в α -твердый раствор и при охлаждении (во время закалки с нагрева ТВЧ) стали приводит к измельчению зерна аустенита. Следует отметить, что при поверхностной закалке с нагрева ТВЧ в промышленных условиях головку рельса как раз нагревают до этой температуры. Поэтому ванадий практически полностью растворяется в аустените, что способствует измельчению его зерна, обеспечивая дисперсности структуры. Согласно данным работ УкрНИИМет, межпластиночное расстояние в перлите составляет: при раскислении стали одним силикокальцием и алюминием – 2 мкм, а при раскислении стали силикокальцием и феррованадием - 0,7-12 мкм. Кроме того, уменьшается скопление оксидных включений, отмечается измельчение структуры и повышение прочности, что является эффективным для роста эксплуатационной стойкости рельсов.

Что касается титана, то он согласно стандарту ДСТУ 4344-2004, в рельсовой стали содержится в количестве 0,005-0,025% (марка М76Т). Больше его содержание в стали приводит к образованию строчечных и точечных включений нитридов титана, которые по своему действию, в отношении зарождения контактно-усталостных дефектов в рельсах находятся на уровне, соответствующем глиноземным строчечным включениям. Практикой производства рельсов установлено, что наиболее оптимальное содержание титана в рельсовой стали должен быть в пределах 0,007-0,015% [3].

В работах ВНИИЖТ МПС отмечается, что при раскислении стали титаном неметаллические включения состоят из титана, глинозема, кремнезема и сульфидов, при этом, строчечные оксидные включения (глинозем) снижались почти втрое, а количество точечных оксидных - осталось на том же уровне, что и в рельсовой стали, раскисленной алюминием. Титан находится в нитридной, оксидной, сульфидной и карбонитридной фазах.

Установлено, что длина строчек в 62% случаев не превышала 2 мм (требования ДСТУ 4344-2004). Длина строчек, в среднем, оставила 0,68 мм по сравнению со строчками 2,98мм в рельсах II-ой группы

Как показали металлографические исследования, неметаллические включения в рельсовой стали, раскисленной КМТ-лигатурой, состоят преимущественно из сульфидов и оксисульфидов марганца и железа, изредка

включений нитридов титана. В стали, раскисленной обычным способом наиболее распространенные включения – глинозем и силикаты они практически исчезают при раскислении комплексной лигатурой, содержащей титан и магний (оксиды и нитриды).

Одним из эффективных методов повышения качества рельсовой стали – рафинирование ее в ковше жидкими синтетическими шлаками. Сущность процесса заключается в том, что в отдельном плавильном агрегате расплавляют синтетический шлак специального состава, который заливают в ковш и из него выпускают жидкий металл из сталеплавильного агрегата. Интенсивное перемешивание приводит к эмульгированию шлака, в результате чего снижается содержание серы, кислорода, неметаллических включений. Кроме того, сталь, обработанная синтетическим шлаком, имеет значительно меньшую пораженность поверхности волосовинами.

Вторым эффективным способом повышения качества рельсовой стали является внепечное вакуумирование ее в жидком состоянии, которое понижает содержание газов и неметаллических включений.

Вакуумирование может производиться двумя способами: первый – это, когда ковш с жидкой сталью (~ 200 т) помещается в вакуумную камеру для обработки. Что касается второго способа вакуумирования, который называется порционным или циркуляционным, то здесь берут небольшие порции жидкой стали из ковша, вакуумируют их и возвращают в ковш. Зарубежная практика порционного и циркуляционного вакуумирования рельсовой стали показала, что этот процесс, вдвое снижает в ней содержание водорода, и надежно предотвращает образование флокенов и уменьшает загрязненность неметаллическими включениями.

В качестве примера производства рельсовой стали высокой чистоты по неметаллическим включениям и газам можно привести немецкую фирму «Thyssen Stahl», где рельсовую сталь выплавляют в кислородно-конвертерном цехе с комбинированной продувкой, а также легированием металла на выпуске управляет компьютер; жидкую сталь вакуумируют циркуляционным методом в специальной установке. Благодаря этому без добавки алюминия достигается низкое содержание водорода в стали. Высокая степень чистоты по оксидным включениям обеспечивается вакуумированием. Кроме того, достигается равномерность (однородность) химического состава стали путем его тонкой корректировки, а также равномерным распределением температуры в ковше перед разливкой. Сталь разливают на заготовки сечением – 265x385 мм на ручьеваой машине непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) с полной защитой металла от вторичного окисления. При этом осуществляется электромагнитное перемешивание жидкого металла, вследствие чего кристаллизация стали протекает без образования ликваций.

Следует отметить, что практически на всех зарубежных металлургических заводах, производящих железнодорожные рельсы, широко применяется кислородно-конверторный процесс выплавки стали в конверторах большой

емкости (~ 250 т). Используется продувка инертными газами, вакуумирование и перемешивание расплава электромагнитным полем, непрерывная разливка стали.

Эти меры в достаточной степени повышают чистоту стали, обеспечивают минимальное содержание в ней кислорода и водорода, выравнивают химический состав, улучшают макроструктуру и снижают образование дефектов на поверхности катания головки рельса.

Большое значение металлургами всех стран придается способу разливки жидкой стали. Так, до 1998 г на МК «Азосталь» рельсовую сталь разливали сверху в изложницы уширенными кверху с прибыльными надставками. Существенным недостатком данного способа является большой объем передела рельсов по поверхностным дефектам, из-за которых лишь 75% соответствовали стандартной длине (25 м), а остальные 25% - подвергались вырезке дефектных мест по пленам, основной причиной которых является окисление, брызги металла на внутренней поверхности изложниц, загрязнения, связанные с наличием на поверхности слитка скоплений частиц шлака огнеупоров.

Для улучшения качества слитка при разливке стали был опробован способ сифонной разливки с открытым зеркалом металла в изложницы. Однако, он не позволял предотвратить завороты окислившихся и остывших корок, не исключал образования подкорковых пузырей, завороты окислившихся и остывших в зеркале (верхняя часть металла в изложнице) металла корок в данной части слитка, которые устранить было невозможно. Для устранения этих недостатков применили изоляцию зеркала золами ТЭЦ, обожженный вермикулит и вспученный перлит, который был принят за основу. При разливке стали данным способом поверхностные дефекты отсутствовали, увеличился выход рельсов I-го сорта до 85%. Разливка рельсовой стали сифонным способом не привела к изменению природы, количества, формы и распределения неметаллических включений в рельсовом металле, а лишь уменьшила количество плен и рванин, закатов, трещин и дефектов макроструктуры, которые также являются зарождением микротрещин усталости и приводят к возникновению дефектов контактно-усталостного характера.

Одним из эффективных путей увеличения выхода рельсов I-го сорта, чистоты по неметаллическим включениям и эксплуатационной стойкости является производство рельсов из непрерывнолитых заготовок (НЛЗ).

За рубежом производство рельсов из НЛЗ осуществляют в промышленных масштабах в США, Японии, Великобритании, Франции, Канаде, Швеции, Австрии и ЮАР.

Первые опытные рельсы из НЛЗ были прокатаны в Великобритании в начале 70-х годов фирмой «Бритиш Стил», а промышленное производство начато через 12 лет на 8-ручьеваой радиальной машине. По данным этой фирмы непрерывная разливка стали снижает количество брака по поверхностным дефектам в 5,5 раза, повышается однородность структуры за счет резкого уменьшения ликвации.

В США фирма «Уиллинг Питебург» при производстве рельсов из НЛЗ за счет электромагнитного перемешивания, одинаковой температуре и химическому составу металла обеспечивается минимизация неметаллических включений.

В Японии непрерывная разливка рельсовой стали получила широкое распространение ещё в 80-е годы.

Опыты по производству отечественных железнодорожных рельсов из НЛЗ были начаты ЦНИИЧерметом и УкрНИИМетом еще в 60-х годах.

Комплексное исследование качества рельсов показало, что выход их I-го сорта длиной 25м составил примерно 97%, что на 23-25% выше, чем при производстве по текущей технологии (разливке стали в изложницы). При этом, передел по поверхностным дефектам (плена, раскатанные пузыри, рванина, трещины и расслоения) рельсов из НЛЗ в 3-9 раз меньше, чем рельсов, прокатанных из слитков.

Металлографическим исследованием установлено, что в рельсах из НЛЗ длина строчек неметаллических включений находилась в пределах 0,05-0,7мм, в то время, как для рельсов из мартеновской рельсовой стали текущего производства они составили 0,54-2,0мм.

В рельсовом металле из НЛЗ основными неметаллическими включениями, также как и в рельсах текущего производства, где сталь разливают сверху в изложницы, являются сульфиды, состоящие из комплексных соединений включающих марганец и железа. Силикаты хрупко разрушающиеся состоят из окислов кальция, кремния и алюминия. Присутствуют также силикаты недеформированные и нитриды. Суммарное содержание оксидных включений в стали из НЛЗ составляет примерно 0,005%, в рельсах текущего производства – 0,010%, т. е. на порядок меньше.

Выше рассмотрели все технологические процессы, способствующие улучшению качества рельсовой стали по неметаллическим включениям при ее производстве.

Практически невозможно выплавить абсолютно чистую от неметаллических включений сталь. Главной задачей на сегодняшний день является воздействие на природу неметаллических включений, максимальное уменьшение величины включений, а также распределение их по всему объему металла. Поэтому еще остаются риски влияния чистоты стали по включениям на эксплуатационную стойкость рельсов.

Сегодня, как и ранее основными видами повреждения головки рельсов в пути являются дефекты контактно-усталостного происхождения: дефект № 11 – выщерблины и выкрашивание металла на рабочей грани головки и дефект № 21 – поперечный излом головки рельса от образования в ней поперечно-усталостной трещины.

Что касается условий и механизма образования этих дефектов, то еще ранее специалистами выдвигалось много причин .

На основании проведенных исследований металла головки рельсов,

снятых с пути по этим дефектам, рядом специалистов отмечалось, что поперечно-усталостной трещине, образующейся в процессе эксплуатации, предшествует образование на глубине 4-20 мм от поверхности катания продольной трещины, на поверхности которой находится структура под названием «белая зона». Образование глубинных продольных трещин связано с тем, что в процессе эксплуатации рельсов происходят локальные изменения состояния металла в опасном сечении. При этом, в области белой зоны отмечалось наличие микроучастков структуры с неоднородной плотностью цементных частиц. Эти локальные изменения структуры являются результатом динамического воздействия большой интенсивности и волнового прохождения его по толщине металла, прилегающего к трещине.

Из этого следует, что авторы данной гипотезы не увязывают образование дефектов с наличием неметаллических включений.

Противоположного мнения об образовании дефектов контактно-усталостного происхождения придерживались специалисты ВНИИЖТ МПС. На основании исследования металла дефектных рельсов они установили, что дефект № 11 начинается с возникновения внутри выкружки головки на глубине 3-9 мм от поверхности катания продольной трещины. Внутренние продольные трещины развивались от характерной - темной, вытянутой вдоль оси рельса. Исследования показали, что в месте зарождения продольных усталостных трещин имелись скопления неметаллических включений размерами более 20-30 мкм в поперечном сечении, вытянутые вдоль прокатки в виде строчек общей длиной 1-2 мм.

Что касается дефекта № 21, то он зарождается в местах скоплений неметаллических включений, вытянутых вдоль прокатки в виде дорожек на глубине 3-9 мм. В этой зоне при эксплуатации рельсов возникают микротрещины. В дальнейшем от таких продольных микротрещин развивается продольно-наклонная, которая в зоне действия растягивающих остаточных напряжений приводит к поперечному излому головки.

Данные исследование не были увязаны с физико-механическими свойствами металла, а сделанные выводы не всегда подтверждались практически при анализе других дефектных рельсов, снятых с пути.

На то время представлял интерес мнение специалистов Ростовского института инженеров железнодорожного транспорта (РНИЖТ), которые на основании исследований металла рельсов, снятых с эксплуатации по контактно-усталостным дефектам, установили связь зарождения и развития таких дефектов с особенностью их строчечной структуры, вызванной дендритной ликвацией слитка. Исследованиями микротрещин металла продольных шлифов, отобранных в зоне очага усталостных дефектов, было установлено наличие в эпицентре элементов неоднородной структуры, вызванное дендритной ликвацией слитка, что приводит к зарождению начальных трещин, которые в процессе эксплуатации развиваются в усталостные дефекты (деф. № 11 и 21). Для уменьшения дендритной неоднородности слитка авторы рекомендовали

применить высокотемпературный диффузионный отжиг слитков, который приведет к выравниванию химического состава и свойств полосчатой структуры. Данная рекомендация представляла практический интерес, в результате чего в УкрНИИМете, была разработана технология устранения полосчатости структуры слитка (а. с. № 1300946). Однако, по ряду технологических и организационных причин данный способ не был реализован в условиях МК «Азовсталь».

На основании многочисленных исследований металла дефектных рельсов, пропустивших различное количество груза от 300 до 900 млн. т была установлена основная причина повреждения рельсов контактно-усталостными дефектами на различной стадии их эксплуатации и разработаны основные критерии свойств рельсов, обеспечивающих сопротивляемость металла образованию этих дефектов на ранней стадии их эксплуатации, что обеспечивало нормативный пропуск груза – 500 млн. т брутто до снятия их с эксплуатации.

Было установлено, что одной из реально существующих причин образования дефектов контактно-усталостного происхождения на рельсах является недостаточный уровень твердости (прочности), в результате чего в процессе эксплуатации происходит наклеп металла на рабочей выкружке наружной нити кривой. Величина и глубина наклепанного слоя находятся в прямой зависимости от исходных физико-механических свойств металла: прочность, уровень и характер распределения твердости по сечению головки рельса, однородность и дисперсность структуры, вид, остаточных напряжений и характер их распределения. В зоне максимального наклепа происходит изменение в строении микроструктуры и элементов тонкой кристаллической структуры, при которых появляются экстремальные значения плотности дислокаций и микронапряжения II рода. При экстремальных значениях этих показателей в зоне действия максимальных касательных напряжений, возникающих от колес подвижного состава, и происходит зарождение микротрещин усталости, которые в дальнейшем развиваются и переходят в образование дефектов № 11 и 21. Что касается неметаллических включений, особенно остроугольной формы, то они являются сопутствующим фактором развития усталостной трещины. Факторами, сопутствующими процессу являются также низкая ударная вязкость металла и высокие растягивающие напряжения.

Полученные результаты многолетних исследований позволили обеспечить производство железнодорожных рельсов, стойких против образования и развития дефектов контактно-усталостного характера [4, 5].

Список литературы:

1. Пути решения проблемы повышения эксплуатационной стойкости железнодорожных рельсов /Д.К. Нестеров, Л.Я. Шнаперман, В.Е. Сапожков и др. //Транспорт: наука, техника, управление - ВИНТИ АН СССР, 1990. - № 8. - С. 15-26.

2. Экономическая эффективность повышения качества рельсовой стали /Н.Ф. Левченко, Л.Я. Шнаперман, О.С.Скворцов и др. //Технология производства стали для железнодорожных рельсов и колес. - Харьков: УкрНИИМет, 1984. - С. 55-59.

3. Рельсы, из стали раскисленной кремний-магний-титановой лигатурой /А.В.Великанов, В.Ю.Кондратьев, А.М.Маслов и др. // Сталь. – 1982. - № 8. - С.67-69.

4. Казарновский Д.С. Именение тонкой структуры металла термоупрочненных рельсов в эксплуатации и их контактно-усталостное разрушение /Д.С. Казарновский, В.Е.Сапожков, Л.Я. Шнаперман // Металлы - АН СССР, 1982. - № 2. - С. 140-146.

5. Влияние свойств и показателей конструкционной прочности рельсов на сопротивляемость образованию контактно-усталостных повреждений / Д.К. Нестеров, В.Е. Сапожков, Б.А. Евдокимов и др. // Транспорт: наука, техника, управление. - ВИНТИ АН СССР, 1990. - № 4. - С. 19-25.

Анотація

Вплив неметалевих включень на експлуатаційну стійкість рейок

Скобло Т.С. Сапожков В.Є. Сідашенко А.І.

Розглянуто вплив способів виробництва рейок на якість металу і схильність його до пошкоджуваності. Оцінено вплив типу, складу і розмірів неметалевих включень на розвиток втомної їх пошкоджуваності в процесі експлуатації, в тому числі при різних навантаженнях. Встановлено вплив структури і фізико-механічних властивостей на пошкоджуваність рейок.

Abstract

Influence of non-metallic inclusions for operating resistance of rails

Skoblo T., Sapozhkov V., Sidashenko A.

The influence of ways of production of rails on the quality of metal and its propensity to damageability is considered. The influence of the type, composition and dimensions of nonmetallic inclusions on the development of their fatigue damageability during operation, including under various loads, is estimated. The influence of structure and physical and mechanical properties on the damageability of rails was established.