

**ИВАНОВ Игорь
СИТАЖ Марек**

**СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОЛЕС**

Резюме. В статье представлено значение колес железнодорожного транспорта для народного хозяйства. В связи с постоянным ростом скорости движения и нагрузки на ось увеличилась величина неисправных колесных пар. Представлено соотношение повреждений за последние 25 лет и основные направления и методы повышения работоспособности элементов пары системы колесо-рельс.

**STAN AKTUALNY TRWAŁOŚCI I NIEZAWODNOŚCI KÓŁ KOLEJOWYCH
ZESTAWÓW KOŁOWYCH**

Streszczenie. W artykule omówiono znaczenie kół kolejowych zestawów kołowych dla gospodarki kraju. W związku ze wzrostem prędkości i obciążeń na oś zwiększyła się ilość niesprawnych zestawów kołowych. Pokazano tendencję zmian różnych defektów kół kolejowych zestawów kołowych w okresie ostatnich 20 lat. Omówiono podstawowe kierunki i metody zwiększenia trwałości kół kolejowych zestawów kołowych.

**THE PRESENT OF THE DURABILITY AND RELIABILITY OF RAILWAY
WHEELSETS WHEELS**

Summary. The importance of the railway wheelset wheels for the country economy has been described in the paper. While the speed and axle load are being steadily increased, the number of out-of-repair wheelsets goes up. The trends and drifts in diverse rail wheelset wheels damages for the last twenty years have been shown. The fundamental ways and methods of increasing the rail wheelset wheels durability have been discussed.

**1. ВИДЫ ОТКАЗОВ И СТАТИСТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ПО ДЕФЕКТАМ
КОЛЕС**

Железнодорожные колеса, сосредотачивающие в себе громадную массу металла и заметную долю народного богатства издавна привлекают внимание многих исследователей путейцев и металлургов. Десятки научно-исследовательских и учебных институтов, заводских и дорожных лабораторий работают над продлением срока "жизни" колес. Каждое

мероприятие, повышающее долговечность колес, дает стране большой экономический эффект.

Однако значение этой проблемы не ограничивается только большой экономией, которую можно получить, добиваясь продления срока службы колес и рельсов. Надежность колес во многом определяет безопасность движения поездов, а внезапные их разрушения под поездами могут служить причиной аварий, которые кроме большого экономического ущерба могут вызвать и человеческие жертвы. Поэтому различные службы железнодорожного транспорта, оснащенные самой современной дефектоскопической техникой, заняты непрерывным контролем за техническим состоянием колес для того, чтобы вовремя обнаружить дефекты, угрожающие безопасности движения, и их заменить.

В связи с постоянным ростом грузооборота на железнодорожном транспорте Польши и других странах мира, начиная с семидесятых годов, увеличена осевая нагрузка вагонов с 205 до 232,5 кН. Намечается дальнейшее ее увеличение до 250 кН, а в перспективе еще больший рост этого параметра. Одновременно с этим возрастают и скорости движения поездов. Рост нагрузок от колесной пары на рельсы и скоростей движения значительно увеличивают силовое взаимодействие между подвижным составом и железнодорожным путем, повышая напряженное состояние рельсов и колес.

Ежегодно на железных дорогах Польши и других странах мира снимают с пути несколько десятков тысяч поврежденных и дефектных колес. Значительный процент колесных пар исключается из эксплуатации вследствие появления на поверхности катания дефектов термомеханического и усталостного происхождения. По данным ЦВ МПС установлено [1], что около 60 % колесных пар грузовых и около 40 % пассажирских вагонов, поступающих в ремонт, обтачиваются из-за появления дефектов на поверхности катания. Правильное решение вопроса о виде повреждения очень важно, так как оно определяет достоверность статистического учета колес и рельсов, снимаемых с пути, и тем самым правильность выводов и рекомендаций по повышению их работоспособности и продления срока службы.

Известны попытки привести в систему и классифицировать дефекты колесных пар, в том числе их поверхности катания. Это вызвано практической необходимостью организации учета дефектов, сбора и анализа статистических данных с целью исследования их для разработки рекомендаций, повышающих эксплуатационную надежность колесных пар и рельсов.

Взаимодействие пути и подвижного состава осуществляется непосредственно через верхние слои наиболее ответственных сопрягаемых элементов колеса и рельса. В этих слоях возникают большие удельные давления, структурные изменения, пластические деформации и различные виды контактно-усталостных разрушений.

Увеличение нагрузки на подвижной состав приводит к быстрому увеличению контактно-усталостных повреждений в колесах и рельсах.

Например, при увеличении нагрузки на ось вагона с 214 до 234 кН в два раза повышаются эти дефекты в рельсах [2]. Это явление увеличивается в кривых . Чем больше нагрузка, тем глубже проникают дефекты усталостного происхождения . Р.А.Аббот и А.М.Зарембский утверждают, что увеличение напряжений на 1% понижает работоспособность рельсов на 8% и наоборот, уменьшение напряжений на 1% увеличивает работоспособность на 8% [3].

Увеличение динамических сил в контакте рельса и колеса, а тем самым понижение работоспособности этой системы зависит и от наличия на поверхности катания дефектов в виде ползунов, наваров металла, выщербин, отколов и неравномерного проката . Совершенно очевидно, что с увеличением жесткости верхнего строения пути, влияние указанных дефектов проявляется более резко.

Следует отметить, что соотношение повреждений поверхности катания колесных пар в значительной степени зависит от физико-механических свойств колесной стали и условий эксплуатации подвижного состава. В работах [2,3,4] отмечено, что при увеличении осевой нагрузки у пассажирских вагонов со 130 до 160 кН износ поверхности катания увеличивается на 18,5 %, а дальнейшее увеличение со 160 до 190 кН привело к резкому увеличению отцепок из-за появления выщербин на поверхности катания. Аналогичные результаты получены при испытаниях грузовых полувагонов на экспериментальном кольце ВНИИЖТа . Улучшение физико-механических свойств колесной стали неизменно влечет за собой изменение процентного соотношения дефектов, по которым происходит исключение колесных пар из эксплуатации. Анализ результатов, проведенных в различные годы обследований состояния колесного парка [1], позволяет получить графические зависимости, отражающие характер изменения различного рода дефектов с изменением свойств колесных сталей (рис.1).

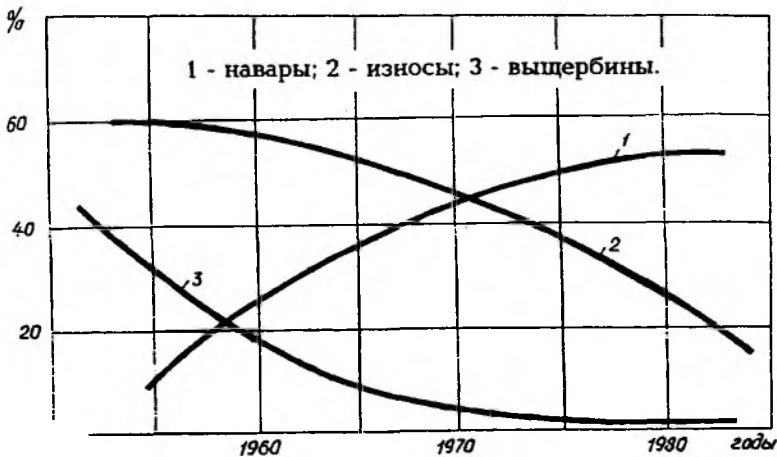


Рис.1

Представленные на рисунке зависимости отражают те или иные дефекты от общего числа повреждений.

Как показывает практика, одним из методов устранения интенсивного бокового износа рельса и подреза гребня, который до настоящего времени в Польше не применяется, является повышение твердости и прочности рельсовой стали термообработкой. Зависимость износа рельсов от их твердости, построенная по данным С.А.Линева, показана на рис.2. Анализ этого рисунка показывает, что с повышением

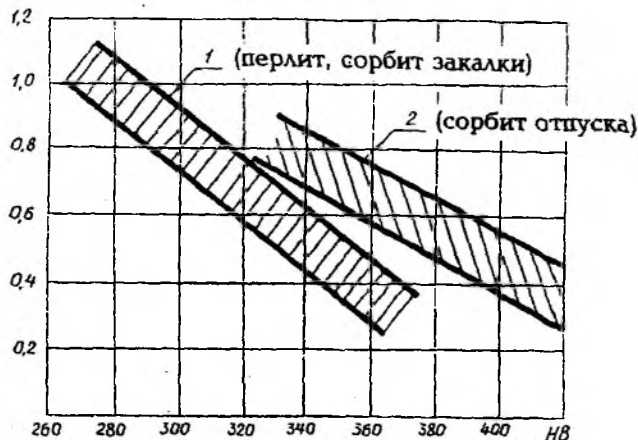


Рис.2

твердости рельсовой стали, износ рельсов заметно уменьшается. Однако, как это отражено в работах [2,3,4], во всех ранее указанных работах авторы не учитывают влияния повышения сопротивления рельсов на надежность работы колес. К настоящему времени значительно изменились условия эксплуатации колес на железных дорогах Польши. Автором с 1986 по 1993 год было проведено обследование колесных пар на локомотиворемонтном и вагоноремонтном заводах южной Польши. Обследование показало, что почти на всех поверхностях катания имеются дефекты описаны раньше. Кроме этих повреждений встречаются виды износа поверхности катания и гребня, показанные на рис. 3 а также боковые пластические деформации поверхности катания и гребня колеса (рис.4). Анализ этих рисунков показывает, что дефекты на поверхности катания колеса в Польше вызваны главным образом низкой прочностью его материала и эксплуатационными условиями.

2. МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ КОЛЕС

Долговечность (технический ресурс) взаимодействующих деталей, к которым относятся колеса и рельсы, определяется износостойкостью их верхних слоев в интеграле предельного допуска износа в заданных

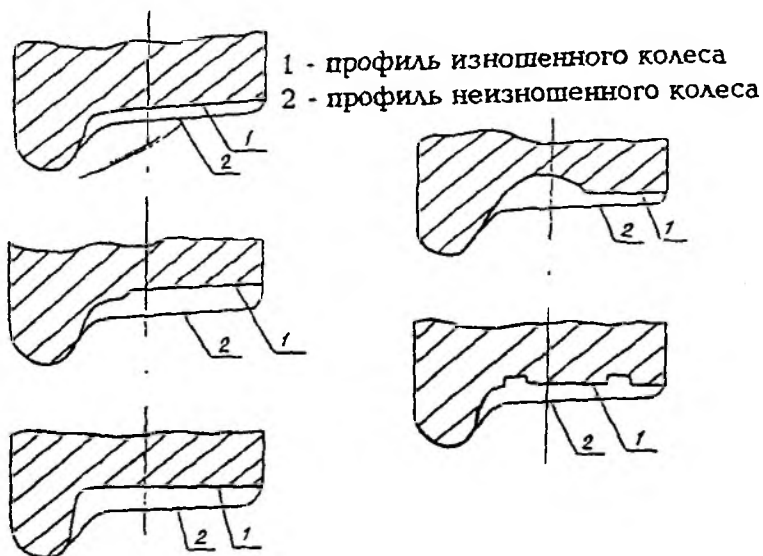


Рис.3

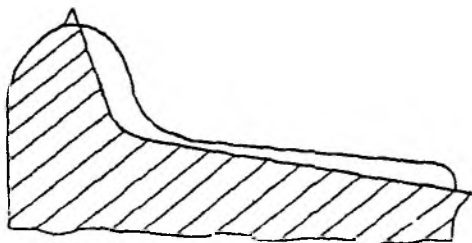


Рис.4

условиях работы. Поэтому характер трения и износа системы колесо-рельс должны рассматриваться как свойство системы взаимодействующих материалов, а не как свойство того или иного материала. Трудов по исследованию износов и разрушений поверхности катания системы колесо-рельс очень мало, а в методике этих работ допускаются пробелы и ошибки. Главным недостатком этих исследований является недостаточная оценка сущности процессов изнашивания и разрушения поверхности колес и рельсов в эксплуатации, что приводило исследователей к противоречивым выводам и предложениям.

Факторы, определяющие прочность металла колеса и рельса, настолько сложны и многогранны, что дать исчерпывающую их интерпретацию чрезвычайно трудно, а сам металл в состоянии наклепа, с

точки зрения механиков, физиков и химиков, содержит еще много неясного.

Основные свойства, которыми должны обладать колеса и рельсы противоречивы: они должны быть одновременно упругими, вязкими и твердыми. Получение наилучшего сочетания этих свойств в колесах и рельсах составляет сущность этой проблемы. Наука и практика стремились найти разрешение ее в изменении профиля, увеличении веса, легировании металла, применении термической обработки колес и рельсов и др.

Наличие определенных процессов изнашивания и разрушений поверхности катания при различных условиях эксплуатации, вызывает необходимость изучить причины их возникновения и основные закономерности, разграничить и классифицировать их. Это позволит установить причинные связи, объяснить процессы трения, износа и разрушений, разработать пути изменения этих процессов в желаемых нами направлениях.

Для повышения работоспособности поверхности катания большинство предположений в начале сводилось к необходимости увеличения углерода в колесной и рельсовой сталях. Все эти мероприятия не привели в конечном итоге к желаемому улучшению работы колес и рельсов. Увеличенная твердость стали, улучшаемая сопротивляемость износу, уменьшает пластичность и ударную вязкость, а это приводит к быстрому разрушению твердых поверхностей катания. Повышение пластических свойств стали отрицательно влияет на усталостную износостойкость.

Выбор марки стали методом подбора не обеспечивал нужного эффекта в борьбе с износом и разрушением поверхности катания, а в некоторых случаях приводил к отрицательным результатам. Например, применение легированных, термически обработанных сталей, обладающих высоким пределом текучести, уменьшающим усталостный и коррозионный износ, привело к увеличению других видов износа (например, теплового, связанного с образованием термических трещин и выкрашиванием металла на поверхности катания колес) и в итоге эксплуатационная надежность колесных пар снизилась. Совершенно ясно, что эмпирический метод борьбы с износом и разрушением поверхности катания колеса и рельса нельзя считать научно обоснованным. Повышение износостойкости можно достигнуть только при установлении причин износа и общей закономерности явлений, происходящих на поверхности катания, знание которых даст возможность правильно конструировать поверхности колес и рельсов, приблизит их форму к оптимальной, отвечающей требованиям их взаимной работы в эксплуатации, а также облегчит выбор марки стали, технологии их изготовления и обработки.

Как правило, детали машин наибольшие усилия воспринимают своими поверхностными слоями. И при статическом изгибе, и при динамической изгибающей нагрузке максимальные напряжения возникают в поверхностном слое изделия. Касательные напряжения,

возникающие при кручении, на поверхности также имеют максимальные значения, а на нейтральной оси равны нулю. При нагружении изделия знакопеременной нагрузкой разрушения от усталости начинается в поверхностном слое. В случае работы на износ от трения изнашивается исключительно его поверхность.

Поэтому при подборе материала и термической обработки для большинства деталей нет необходимости придавать им одинаковые свойства по всему сечению, исходя из требований, которые предъявляются лишь поверхностным слоям. В некоторых случаях применение равнопрочных изделий может оказаться не только нерациональным, но и вредным. Именно поэтому техническую мысль последних десятилетий так живо интересуется проблема поверхностного упрочнения изделий.

Массовое применение известных методов поверхностного упрочнения и внедрение новых сдерживается недостаточной их изученностью, что затрудняет сравнение эффективности различных методов и выбор наиболее эффективного из них для данной детали и данных условий эксплуатации.

Вопросам влияния различных факторов, таких как твердость, толщина и структура упрочненного слоя, распределение и уровень остаточных напряжений и т.д. на статическую и циклическую прочность деталей с поверхностным упрочнением посвящено большое количество работ. Например, работы И.Н.Кидина, С.В.Серенсена, И.В.Кудрявцева, Г.Ф.Головина и т.д., в том числе ученых железнодорожного транспорта: Н.П.Шапова, Л.М.Школьника, М.М.Машнева, Д.Л.Юдина и др.

В настоящее время получили применение следующие основные способы поверхностного упрочнения деталей с целью повышения их износостойкости:

- а) локальное термическое упрочнение верхних слоев поверхности материала детали без изменения его химического состава;
- б) нанесение на поверхность тонких слоев иного материала;
- в) диффузионное легирование поверхностного слоя металла соответствующими химическими элементами;
- г) косвенное упрочнение поверхности путем повышения качества их отделки или использованием специальных процессов химической обработки, обеспечивающих быструю приработку трущихся пар в процессе обкатки машины.

При выборе того или иного метода упрочнения важно учитывать как показатели себестоимости, так и надежность, долговечность упрочненных деталей машин. Поэтому эффективность повышения долговечности колес и рельсов за счет упрочнения будет находиться в зависимости от соотношения предельного проката и глубины закаленного слоя этих элементов. Следовательно, наиболее приемлемым способом упрочнения крупногабаритных деталей, к которым относятся железнодорожные колеса и рельсы, является закалка поверхности катанья. Для этой цели наиболее пригодными способами нагрева могут быть индукционный и газопламенный.

Анализ технологических возможностей этих способов упрочнения [4] показывает, что важнейшим преимуществом перечисленных методов является возникновение в верхних слоях закаленного слоя остаточных напряжений сжатия.

В многочисленных исследованиях [1,2,4] показано, что рационально выбранный режим закалки при нагреве ТВЧ приводит к образованию в поверхностном слое мелкоячеистого мартенсита, обладающего наиболее высокой твердостью и прочностью. В упрочненном слое возникают остаточные напряжения сжатия. Использование их для повышения работоспособности железнодорожных колес и рельсов имеет весьма важное значение, так как их поверхности находятся в сложнонапряженном состоянии. Вопрос о выборе способа нагрева колес и рельсов и методе их упрочнения имеет огромное значение как с точки зрения обеспечения качества, так и затрат на их упрочнение.

Из всех известных и широко применяемых в современном машиностроении методов поверхностного упрочнения деталей, поверхностная закалка при нагреве токами высокой частоты (ТВЧ) занимает особое место. Она позволяет получать экспериментальные кривые физико-механических свойств, близкие к теоретическим при высоких показателях не только износостойкости и вязкости, но и контактно-усталостной прочности за счет измельчения зерна и напряжений сжатия, возникающих в поверхностном закаленном слое.

Термические методы упрочнения колес и рельсов позволяют полное вскрыть неиспользуемые резервы применяемых сталей и значительно повысить их надежность и долговечность.

Применение закалки при индукционном нагреве ТВЧ дает возможность :

- а) создать на поверхности катания колеса и рельса закаленный слой металла желаемой толщины и твердости, обладающий большой износостойкостью и повышенной вязкостью за счет измельчения зерна;
- б) обеспечить повышенный предел усталости вследствие возникновения в закаленном поверхностном слое напряжений сжатия;
- в) сохранить исходные вязкие свойства.

Перспективность метода упрочнения закалкой при индукционном нагреве объясняется рядом общеизвестных его преимуществ по сравнению с другими видами упрочнения : большая производительность, резкое сокращение длительности технологического цикла упрочнения, возможность замены дорогостоящих легированных сталей более дешевыми углеродистыми, возможность поточной термообработки с максимальной автоматизацией процесса.

Оптимизация износостойкости и усталостной прочности трущихся деталей массового производства таких, как железо-дорожные колеса и рельсы, имеет особую актуальность, так как даже незначительное повышение их долговечности представляет собой огромный источник экономии колесной и рельсовой стали, затрат труда, электроэнергии и инструмента при одновременном расширении возможностей повышения использования подвижного состава и рельсов.

Профиль износа колес и рельсов, усталостные повреждения, а также особенности, вытекающие из взаимодействия колеса и рельса, должны учитываться при установлении параметров их упрочнения.

На рис.5 показаны характерные геометрические параметры

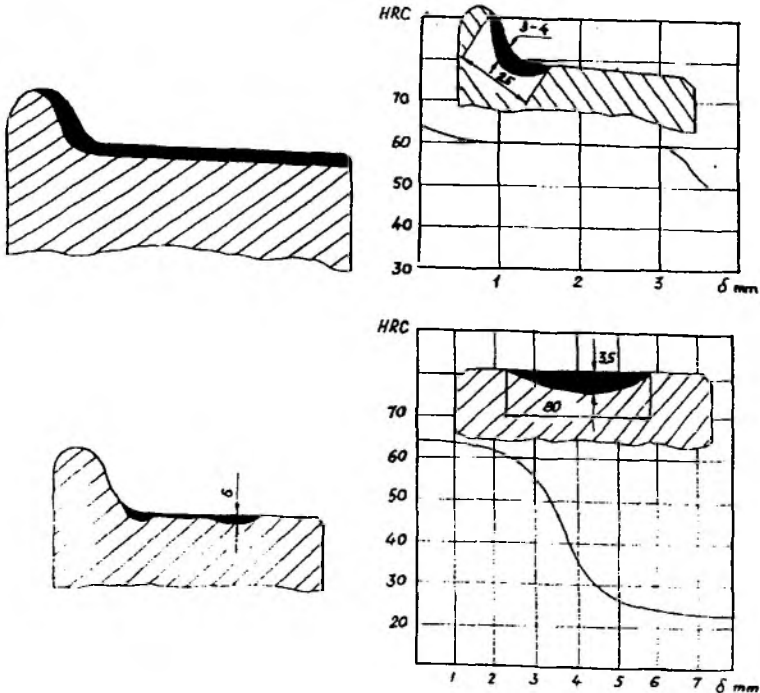


Рис.5

упрочнения колес, а на рис.6 - геометрические параметры упрочнения рельсов.

Профиль износа колес и рельсов является исходным в определении геометрических параметров их упрочнения. На рис.7 даны схемы сопряжения колеса и упрочненного рельса при различных сочетаниях допускаемых износов. Анализ схем показывает, что принятые геометрические параметры упрочнения рельсов не согласованы с их предельными износами. Кроме того, следует иметь ввиду, что у колес напавы образуются на наружной (полевой) грани колеса. Эти особенности, вытекающие из взаимодействия колеса и рельса, должны учитываться при установлении геометрических параметров упрочнения.

В отношении глубины закаленного слоя важно заметить, что рельсы являются деталями однократного действия, поэтому коэффициент глубины их упрочнения должен быть больше единицы.

Требования, которые предъявлялись в недалеком прошлом к качеству металла колеса и рельса, сейчас являются непреодолимыми. В

области комплексного изучения взаимодействия пути и подвижного состава никогда еще не стояли такие сложные и ответственные задачи, какие выдвигает перспективная перевозочная работа железнодорожного транспорта. Необходимо улучшить упругие характеристики верхнего

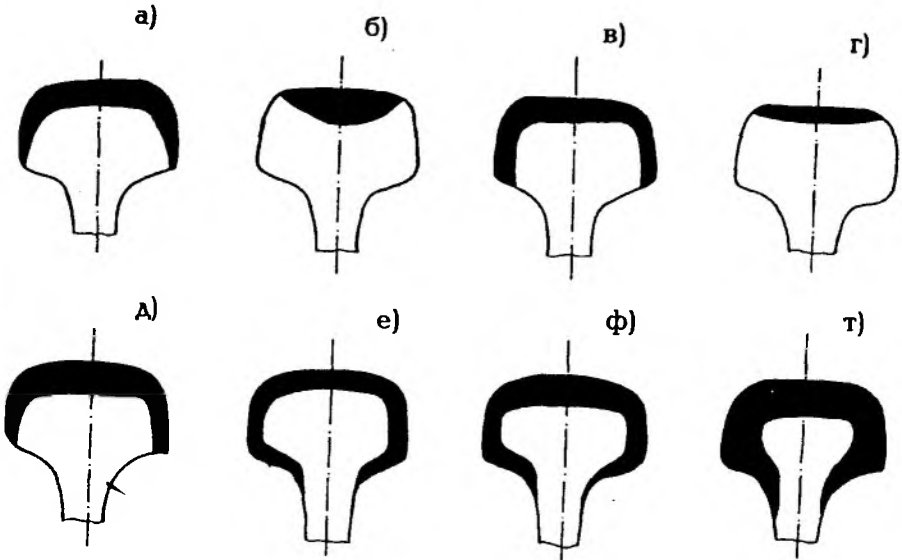


Рис.6

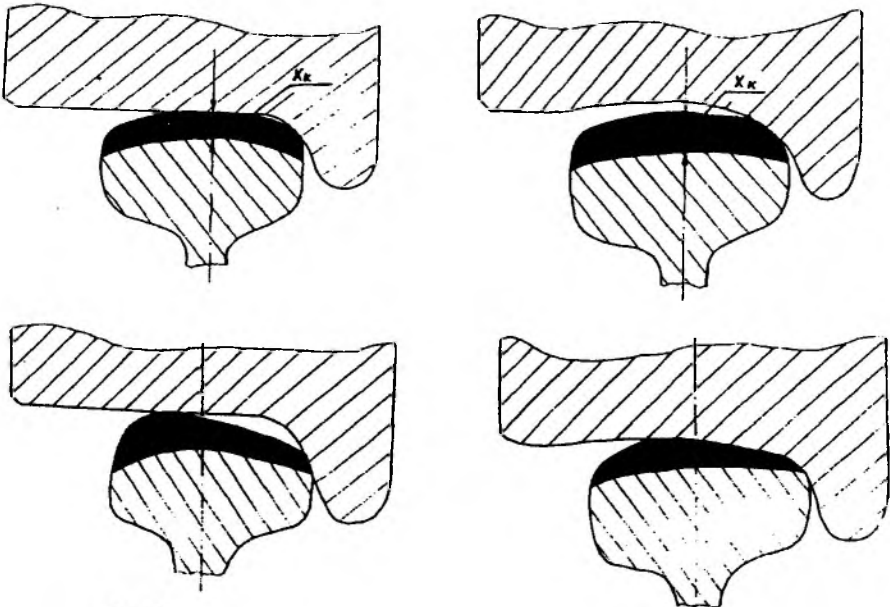


Рис.7

строения пути и подвижного состава, чтобы обеспечить работу материала колес и рельсов, при которой не превышался бы рабочий предел физических свойств металла, прежде всего в слоях поверхности катания. Для оценки применяемых и вновь разработанных материалов в работах [2,4] проведены теоретические и экспериментальные исследования трения и износа.

В настоящее время в России и других странах мира принято решение о внедрении термической обработки рельсов до твердости в пределах 400-450 НВ. Однако, такое решение в отношении повышения работоспособности рельсов нельзя принять без достаточного учета степени взаимодействия рельсовой стали повышенной прочности на износ колес

Все факторы, оказывающие влияние на износ, можно разбить на пять основных групп [2]: параметры подвижного состава, параметры верхнего строения пути, условия эксплуатации, условия окружающей среды, параметры конструкционных материалов.

Эти группы по их значению для материала колес и рельсов можно разделить на первичные и вторичные факторы. Первичные - непосредственно участвуют в процессах, протекающих в точках соприкосновения колеса и рельса, и поэтому должны приниматься во внимание в любом случае рассмотрения характера трения и износа. Изменения же вторичных факторов оказывают одинаковое влияние на взаимодействие колеса и рельса независимо от материала, из которого они изготовлены.

Почти все работы, посвященные влиянию трения и износа в системе колесо-рельс, проводились только на образцах из рельсовой стали или колесной без должной оценки степени влияния прочности одного элемента на износостойкость другого в паре, моделирующей работу колеса и рельса. Из работ, посвященных проблеме трения и износа системы колесо-рельс можно выделить работы русских ученых: Т.В.Ларина, занимавшегося трением и износом образцов, подвергнутых объемной закалке, М.М.Мапшева, занимающегося трением и износом образцов, подвергнутых закалке ТВЧ, а также работы Г.Крауза и Ю.Шольгена, применявших в своих экспериментах разные марки стали в системе колесо-рельс.

В настоящее время в России, Америке, Японии и других странах мира большое внимание ученых привлекает упрочнение системы колесо-рельс ТВЧ, как рациональный экономически и обладающий многими преимуществами над другими видами упрочнения способ. Однако любой вид упрочнения, как правило, приводит к увеличению износостойкости. При упрочнении элементов передающей и воспринимающей поверхностей может показаться, что долговечность и надежность одного из элементов будет повышена, а второго - уменьшена. Лишь рациональное применение способов термического упрочнения и научно обоснованный подход к их осуществлению дают возможность повысить как надежность, так и долговечность изделия в целом.



Рис. 8

Подводя итоги вышесказанного, можно утверждать, что характер трения и износа должен рассматриваться как свойство системы взаимодействующих материалов, а не как свойства того или иного материала. Если в системе трения качения изменяется один из параметров, необходимо изучить влияние этого изменения на всю систему.

Таким образом, для повышения работоспособности поверхности катания элементов пары системы колесо-рельс используются направления и методы, представленные на рис. 8. Анализ этого рисунка показывает, что повышение надежности этой системы зависит от многих факторов, а основными направлениями являются:

- 1) производственные;
- 2) эксплуатационно-ремонтные;
- 3) конструкционно-технологические;
- 4) организационные

которые более подробно описаны например в работах [1,4]

Литература

1. Иванов И.А.: Повышение ресурса колес рельсовых экипажей. Дисс. на соиск. уч. степ. д.т.н. С-Петербург, 1993, 257 с.
2. Abbot R.A., Zarembski A.M.: On the prediction of the fatigue life of rails. Bulletin American Railway Engineering Association. 1978, N.666.
3. Нолмов П.В.: Работоспособность вагонных колес при повышенных осевых нагрузках. Железнодорожный транспорт. Нр.1, 1973, с.63-65 .
4. Сятаж М.: Методы повышения работоспособности системы колесо-рельс. Дисс. к.т.н. Ленинград, 1987 .

Recenzent: Doc.dr inż. Eugeniusz Turyk

Wpłynęło do Redakcji: 21.06.1995 r.

Abstract

The importance of the railway wheelset wheels for the country economy has been described in the paper. While the speed and axle load are being steadily increased, the number of out-of-repair wheelsets goes up. The reason for it is the change of the running conditions, such as the increase of dynamic force at wheel-rail contact point, the increase of track rigidity and the track and vehicles technical condition. The trends and drifts in diverse rail wheelset wheels damages for the last twenty years have been shown. The fundamental ways and methods of increasing the rail wheelset wheels durability have been discussed. The analysis of the wheelset wheels durability is concluded by stating the main directions of necessary improvement, and these should be the design, technology, running and management.