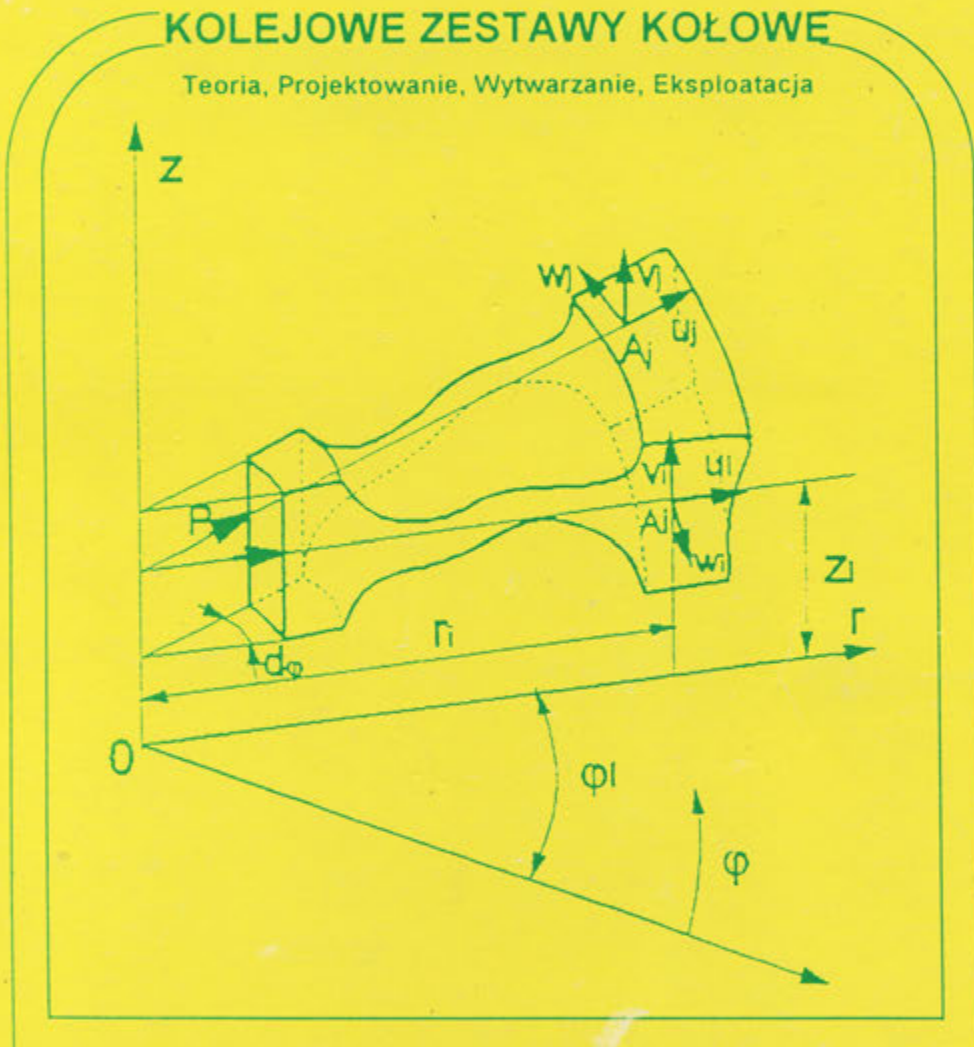


150 LAT POLSKICH KOLEI PAŃSTWOWYCH
100 LAT ZNTK W GLIWICACH
50 LAT POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

MIĘDZYNARODOWE SEMINARIUM NAUKOWE

KOLEJOWE ZESTAWY KOŁOWE

Teoria, Projektowanie, Wytwarzanie, Eksploatacja



INSTYTUT TRANSPORTU POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ
KATOWICE - USTROŃ 18 - 20 WRZEŚNIA 1995 R.

**150 LAT POLSKICH KOLEI PAŃSTWOWYCH
100 LAT ZNTK W GLIWICACH
50 LAT POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ**

Międzynarodowe Seminarium Naukowe

KOLEJOWE ZESTAWY KOŁOWE

Teoria, Projektowanie, Wytwarzanie, Eksploatacja

Katowice - Ustroń 18 - 20 września 1995 r.

**Instytut Transportu
Politechniki Śląskiej
w Katowicach**

ТАРАН Ю.Н.
ЕСАУЛОВ В.П.
ГУБЕНКО С.И.
СЛАДКОВСКИЙ А.В.

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПАРЫ КОЛЕСО - РЕЛЬС С ЦЕЛЬЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ КОЛЕСНЫХ ПАР

В последнее время на железных дорогах Украины, России и других стран Восточной Европы большое значение приобрела проблема износа гребней колесных пар и боковых поверхностей головок рельсов. Можно назвать большое количество причин данного явления, например, использование композиционных тормозных колодок вместо чугунных, бетонных шпал вместо деревянных, значительное увеличение твердости рельсовой стали и др. Представляется, однако, что наиболее существенным является забвение железнодорожной наукой того факта, что колесо и рельс представляют собой пару трения и что рассматривать их в отрыве недопустимо. Тем не менее, в бывшем СССР был сначала изменен стандарт на конструкцию рельса и при этом изменена форма его рабочей поверхности. Затем широко стал внедряться новый профиль поверхности катания локомотивных колес (объединенный профиль ВНИИЖТ), который затем пришлось отменить в приказном порядке.

Уже данные факты позволяют поставить вопрос о соответствии применяемых в настоящее время конструкций колес и рельсов требованиям современной трибологии и механики деформируемого твердого тела. Особенно это относится к профилям рабочих поверхностей колес вагонов и локомотивов. Кусочно - линейная форма их рабочей поверхности катания уже после первой тысячи километров пробега переходит в криволинейную. Если учесть, что профили рабочих поверхностей колес, которые используются ведущими странами, например, МСЖД, являются криволинейными, то становится ясно, что для создания новых профилей колес и рельсов для стран Восточной Европы необходимо провести комплексные исследования взаимодействия в триботехнической и механической системе колесо - рельс, учитывая при этом характеристики верхнего строения пути в целом, а также экипажа.

В Государственной металлургической академии Украины (г. Днепропетровск, ранее ДМетИ) на протяжении ряда десятилетий проводятся исследования взаимодействия колес и рельсов. В частности, изучалось явление микроскольжения на контактной поверхности колес и рельсов. Определено расположение и величина зон сцепления и проскальзывания для свободного качения вагонных колес и тягового качения колес локомотивов. Исследования проводились на модельных задачах при помощи метода конечных элементов, а также качение моделировалось на специальной экспериментальной установке при помощи тензометрии. Было определено,

что при качении колес, у которых упругие характеристики совпадают с характеристиками модельных "рельсов" при свободном качении зоны проскальзывания не возникают, а при тяговом качении реализуется двухзонная теория микроскольжения Картера - Фромма, причем зона сцепления примыкает к переднему краю контакта, а зона проскальзывания находится на выходе из контакта. При возрастании тягового момента на колесе величина зоны проскальзывания увеличивается до тех пор, пока вся контактная область не будет зоной проскальзывания, что будет соответствовать буксованию колеса.

Отметим, что для качения железнодорожных колес гораздо большее значение по сравнению с микроскольжением имеет геометрическое скольжение или крип. Это можно утверждать, если провести анализ энергетических потерь на трения для первого и второго явления. Авторами были проведены исследования влияния различных профилей на относительное продольное проскальзывания поверхностей колеса и рельса при вписывании в кривые как отдельных колесных пар, так и экипажей в целом. При этом рассматривалась реальная геометрия взаимодействующих поверхностей. То есть, исследовались как новые колеса и рельсы, так и изношенные. Причем для последних снимались профилограммы колес и рельсов с различной степенью износа, которые затем при помощи сканера вводились в ЭВМ. Потом производилась математическая обработка введенных профилей, для любого заданного относительного расположения колесной пары и рельсовой колеи определялись начальные точки контакта, исследовалась возможность образования второй контактной зоны. При этом учитывались как силовые факторы, действующие на колесную пару, так и геометрические условия взаимодействия, такие как уширение колеи, подуклонка рельсов и их динамическая разуклонка, реальные углы набегания колес, расстояния между внутренними гранями ободьев колес в паре и т.д. В результате исследований были определены относительные продольные проскальзывания реальных поверхностей колес при движении экипажей по прямым и кривым участкам пути, а разработанные методики использовались для моделирования разрабатываемых профилей колес.

Как один из дефектов железнодорожных колес достаточно распространен остроконечный накат на гребнях. Его основной причиной является пластическое деформирование колесной стали под действием усилий между гребнем колеса и боковой гранью рельса. При этом металл в условиях относительного проскальзывания поверхностей может выдавливаться к вершине гребня. Чаще всего это явление сопровождается односторонним подрезом гребня. Были проведены исследования безопасности движения экипажей, имеющих колеса с остроконечным накатом, в различных участках пути, прежде всего, стрелочных переводах, и разных скоростях движения. При этом снимались и математически обрабатывались профили стрелочных переводов, которые имели различную степень износа. В результате проведенных исследований были определены опасные формы остроконечного наката, разработан шаблон для выбраковки колесных пар по данному виду дефектов. Изучены также причины их возникновения, что было использовано при разработке новых конструкций колес и, в частности, профилей рабочих поверхностей.

Одной из главных причин изнашивания гребней колес является их пластическое формоизменение при контактном взаимодействии. Для исследования последнего была сделана попытка применить метод конечных элементов. Однако для достижения приемлемой точности необходимо

решать существенно трехмерную задачу МКЭ со смешанными граничными условиями для контактной области. Это удалось достичь только для ряда тестовых задач. Моделирование контактного взаимодействия колес и рельсов для различных профилей, в т.ч. изношенных, было осуществлено при помощи квазигерцевского подхода, разработанного авторами доклада. В его основу было положено определение для моделируемых поверхностей колес и рельсов (стрелочных переводов) локальных кривизн в зонах возможного контакта, которые определялись в результате минимизации функционала, характеризующего расстояния по вертикали между взаимодействующими поверхностями. Затем определялись виртуальные сближения поверхностей колеса и рельса под действием совокупности воздействующих нагрузок. Если реализовывался однозонный контакт, то задача сводилась к тривиальному решению Герца-Беляева. Для двухзонного случая необходимо было находить решение при помощи итерационного процесса. При этом определялись величина и расположение контактных зон, действующие в них напряжения для различных относительных положений поверхностей колеса и рельса.

Очевидно, что величина контактных напряжений существенно зависит от динамических усилий, действующих в системе путь - экипаж. Для их анализа в данной системе были выделены наиболее существенные связи и рассмотрена трехмассовая динамическая модель. Определены динамические усилия, действующие на колесо при прохождении различных неровностей пути, например, стыковой просадки, а также при наличии ползуна на самом колесе. Определенные величины усилий использовались при анализе напряженно - деформированного состояния колес и рельсов.

Для расчета последних использовался полуаналитический МКЭ. Точность конечно - элементной постановки тестировалась на ряде аналитических решений, которые были получены при помощи теории функций комплексного переменного методами Мухелишвили. Это позволяет утверждать, что систематическая погрешность, вносимая как КЭ-сеткой, так и принимаемым в расчете количеством рассматриваемых членов ряда Фурье (11), не превосходит 5%. В конечно - элементном расчете помимо контактных усилий были учтены условия запрессовки колес, температурные поля при экстренном и длительном торможении. Полученные распределения напряжений использовались для анализа конструктивной прочности и надежности конструкций колес. Определенные перемещения поверхностей колес и рельсов закладывались в расчет контактного взаимодействия в паре колесо - рельс.

Наряду с теоретическим анализом НДС колес проводились и экспериментальные их исследования. Последние проводились как в лабораторных условиях на специальных стендах для различных моделей колес, так и в поездных эксплуатационных условиях для натуральных колес. Исследования проводились при помощи тензометрии, определенные при этом деформационные поля сравнивались с результатами теоретических расчетов. Хорошее их соответствие позволяло использовать следующую методику разработки новых конструкций железнодорожных колес: прочностной и усталостный расчет новых конструкций колес, в т.ч. новых профилей рабочих поверхностей; трибологический анализ взаимодействия в паре колесо - рельс и механико - геометрический анализ вписывания колесных пар и безопасности движения; тензометрические исследования моделей колес в лабораторных условиях. Удовлетворяющие современным требованиям конструкции колес внедрялись в производство. При этом

использовались разработки, позволяющие автоматизировать подготовку производства. Опытные образцы колес проходили всестороннюю эксплуатационную проверку.

Важную роль в понимании механизма износа пары колесо - рельс играет исследование изменений, происходящих в процессе эксплуатации в поверхностных слоях металла. Вследствие волнистости и шероховатости контакт поверхностей пары трения дискретен, что приводит к неоднородности распределения прикладываемой внешней нагрузки, контактных напряжений, структурных изменений в приповерхностных слоях и, как следствие, неравномерному износу. Для исследования были выбраны железнодорожное колесо и рельс стандартной конструкции, проработавшие 5,5 лет. По всей поверхности катания колеса наблюдается зона интенсивной пластической деформации, характер которой неоднороден (табл. 1), причем максимальные значения степени деформации приходятся на зоны выкружки и наплыва. На поверхности катания наблюдаются участки "белого слоя", представляющего собой гартенит, а также усталостные микротрещины, одним концом выходящие на поверхность и являющиеся промежуточным этапом формирования и отделения частиц износа, появление которых связано с накоплением повышенного количества дислокаций (табл. 1). Глубина распространения пластических сдвигов по ширине обода не одинакова, что связано с распределением контактных напряжений (табл. 1).

Таблица 1

Значения степени деформации (ε), глубины зоны пластической деформации (h), размера блоков мозаики (a), микроискажений ($\Delta a/a$) и плотности дислокаций

(ρ) в различных местах поверхности катания по ширине обода

железнодорожного колеса			
Параметр	Выкружка	Средина	Напływ
$\varepsilon, \%$	65-75	22-25	90
$h, \text{ мкм}$	300	30	600
$a \cdot 10^5, \text{ см}$	2,86	2,25	2,93
$\Delta a/a$	0,34	0,21	0,34
$\rho, \text{ см}^{-2}$	$9,2 \cdot 10^{11}$	$3,7 \cdot 10^9$	$9,6 \cdot 10^{11}$

Контакт колеса с рельсом приводит к аналогичным изменениям вблизи рабочей поверхности головки рельса, где наблюдали интенсивные пластические сдвиги и "белые слои". Износ головки рельса также проходил неравномерно, причем есть участки, где параметры структуры соответствуют сильно деформированному состоянию (табл. 2). Глубина структурных изменений максимальна в зоне наплыва и в средней части рабочей поверхности головки рельса, что связано с распределением контактных напряжений (табл. 2).

Механизм износа железнодорожных колес и рельсов связан с формированием идентичных частиц износа, что обусловлено одинаковыми условиями эксплуатации. Настоящие исследования позволяют утверждать, что многие элементы рассмотренной пары трения имеют неблагоприятную форму, и это обуславливает их неравномерный и повышенный износ вследствие высоких контактных напряжений. Для повышения срока службы изучаемой пары трения необходимо обеспечить оптимальность их конструкций для соответствующих условий эксплуатации.

Таблица 2

Значения степени деформации (ε), глубины зоны пластической деформации (h), размера блоков мозаики (a), микроискажений ($\Delta a/a$) и плотности дислокаций

(ρ) в разных участках изношенной головки рельса

Параметр	Боковая сторона 1	Середина	Боковая сторона 2
$\varepsilon, \%$	70-90	70-80	50-60
h , мкм	480	250	320
$a \cdot 10^5$, см	2,99	2,64	2,86
$\Delta a/a$	0,37	0,33	0,35
ρ , см ⁻²	$8,4 \cdot 10^{11}$	$1,2 \cdot 10^{11}$	$3,6 \cdot 10^{11}$

Таким образом, в результате многолетних исследований были проведены комплексные исследования пары колесо - рельс, в результате которых разработаны новые конструкции железнодорожных колес, которые прошли успешную апробацию на магистральном и промышленном транспорте. Новые профили рабочих поверхностей используются для ремонтной обточки колес вагонов и локомотивов. Их применение позволяет уменьшить интенсивность износа гребней колесных пар от 30 до 100% в зависимости от вида подвижного состава и условий его эксплуатации.