

## ***ОБ ОДНОЙ ПРИЧИНЕ НЕОЖИДАННОГО РАЗРУШЕНИЯ КОЛЁС***

С.В.Петров, доктор технических наук,  
Киев, Институт газ НАН Украины

С неожиданным появлением трещин на рабочей поверхности колеса и в отдельных случаях с разрушением бандажей мы столкнулись, когда уже полным ходом шло плазменное поверхностное упрочнение гребней и работало около 15 участков в различных депо Укрзализныци. Вначале были проверены все возможные последствия, связанные с плазменным нагревом. К этой работе были подключены коллеги из Украинской Академии наук ИЭС им. Е.О.Патона, Института проблем прочности, Института проблем материаловедения. Все расчетные и экспериментальные исследования сводились к тому, что используемая технология имеет достаточно большой запас надежности, а упрочнённый слой имеет повышенные механические характеристики и тормозит распространение микротрещин. Тем не менее, причина разрушения колес была найдена. Поскольку данное явление носит общий характер, а колесо является главным элементом безопасности движения, хотелось бы обратить на него внимание в первую очередь эксплуатационников и ответственных за составление нормативной документации. В короткой статье невозможно глубоко осветить этот предмет. Сущность в следующем.

В эксплуатации рабочая поверхность колеса находится под действием комплекса различных нагрузок. Обнаружено, что при одновременном наличии трех факторов: 1) материал приповерхностного слоя находится в сложно-напряженном состоянии с 2) поверхностным наклепом, когда 3) на поверхность накладываются какие-либо термомеханические воздействия, рабочий поверхностный слой материала колеса может практически утратить способность сопротивляться разрушению. Природа этих воздействий может быть различной: нагрев внешним тепловым источником, трение от тормозных колодок или рельс, возникающее при блокировании колес во время торможения. Внешне это выражается в полной потере пластичности, охрупчивании материала, появлении на поверхности сетки трещин, напоминающих рыбью чешую, а на уровне тонкой структуры – в накоплении дефектов и её разупорядочении. При этом повышается способность поверхностных микротрещин к распространению вглубь бандажа. Попадание таких микротрещин в неблагоприятное поле растягивающих напряжений первого рода может привести к разрыву бандажа. Подобные разрушения в полной мере можно отнести к категории неожиданных с глубоко “спрятанной“ истинной причиной.

Автором выполнен анализ структуры и физико-механических свойств приповерхностных слоев колесной стали в зоне контакта с рельсом, формирующихся под действием комплекса разнородных факторов. Целью данного исследования было выявление первоначальных причин разрушения колеса при одновременном наличии вышеупомянутых трех факторов

Бандажи сформированной колёсной пары находятся в растянутом состоянии до уровня предела текучести материала. При эксплуатации на рабочей поверхности катания образуется упрочненный за счёт наклепа слой металла толщиной до 7-10 мм, твёрдость которого повышается от 285 НВ (основной материал) до 330-370 НВ на поверхности. При локальном нагреве и охлаждении такой поверхности выше температуры 400°С, когда материал теряет свои упругие свойства, могут произойти существенные изменения физико-механических свойств тонкого (100-500 мкм) приповерхностного слоя материала бандажа с потерей пластичности, охрупчиванием, накоплением дефектов и появлением на поверхности сетки трещин, напоминающих рыбью чешую. Параллельно были исследованы различные аспекты воздействия высококонцентрированных потоков энергии

(плазмы) на материал колёсной стали применительно к процессам поверхностного упрочнения для повышения срока службы колёс и отпуска дефектных колёс перед перепрофилированием. Дальнейший анализ и сравнения показали, что нагрев поверхности от трения тормозными колодками и рельсами при блокировании колёс для случая сложнонапряженного банджа с наклепанным слоем приводит к одинаковой дефектности поверхности. Именно такая дефектность может стать причиной неожиданного разрушения колеса.

Решение задачи термоупругости и термопластичности заключалось в расчете нестационарных термонапряженных состояний, которые базировались на решении задачи нестационарной теплопроводности и использовании конечно-разностных численных методов решения. Оптимальная разбивка сечения на треугольные конечные элементы достигалась на основании анализа сетки разбивки нескольких вариантов. В итоге, сечение банджа колеса разбито на 657 элементов, соединенных в 365 узлах. Расчеты говорили о наличии напряжений и деформаций, но не опасных. Особенности структуры материала колёс исследовались различными методами. Металлографические исследования проводились на микроскопах Неофот-32, Versamet-2. Микротвердость образцов определяли на микротвердометре “Леко“ при нагрузке на индентор 245 Н с шагом 0,05 мм. Химическое травление образцов проводилось в 4% растворе  $\text{HNO}_3$ . С целью анализа изменения размеров зерна применялся метод количественной металлографии. Аналитическая растровая электронная микроскопия использовалась для изучения характера распределения химических элементов в исследуемой зоне, определения химического состава в локальных областях фазовых выделений и сегрегаций, а также для изучения поверхности излома. Фрактографические исследования были использованы для получения информации о характере разрушения, о наличии хрупкого или вязкого разрушений, о причинах, приводящих к охрупчиванию. Прямое исследование тонкой структуры на просвет проводилось на приборе JEM-2000CX (фирмы Jeol). Прямые исследования на просвет проводились с целью более глубокого и детального анализа особенностей структуры, морфологии и распределения мелкодисперсных фазовых образований различного типа, их состава, а также характера распределения дефектов кристаллической решетки, формирования дислокационных неоднородностей, в том числе локальных концентраторов напряжений. Оценка прочностных и пластических характеристик металла поверхностного слоя проводилась по результатам склерометрических испытаний. Принимая во внимание незначительную протяженность зоны термомеханического влияния и резкие изменения механических свойств на различных её участках, разработан метод локального определения механических свойств материала с регистрацией диаграмм деформирования при царапании. С использованием данного метода определены основные механические характеристики металла на различных расстояниях от поверхности: предел текучести, предел прочности, истинное сопротивление разрыву и т.д.

Исследование твердости проводилось с помощью комплекса микромеханических испытаний, позволяющих производить запись диаграмм: нагрузка-глубина внедрения и глубина внедрения – время при постоянной нагрузке. Полученные диаграммы позволяют определять истинную твердость материала по глубине внедрения индентора, твердость, восстановленную по глубине внедрения отпечатка после снятия нагрузки. Из диаграмм рассчитываются величины, характеризующие уровень пластичности и склонность материала к релаксации напряжений, показывающий возможности материала релаксировать возникающие напряжения при циклических воздействиях.

Трещинообразование стимулируется следующими основными факторами:

- 1) образованием “раскатанных” протяженных неметаллических включений сульфидного типа, направленных параллельно внешней обрабатываемой поверхности (эта взаимосвязь четко просматривается при фрактографических исследованиях);
- 2) формированием

локальных внутренних напряжений в структурных элементах, характерных для основного металла (перлитных зернах), которые начинают проявляться на глубине  $\sim 100$  мкм от поверхности. О наличии концентраторов напряжений свидетельствуют образующиеся экстинкционные контура, размер которых порядка 1,0 - 1,5 мкм, и высокая плотность дислокаций ( $>>10^{11}/\text{см}^2$ ). Поскольку при размерах контуров экстинкции  $\sim 3,0$  мкм создаётся изгиб кристаллической решетки  $\sim 30$   $^\circ/\text{мкм}$ , что должно соответствовать локальной деформации в указанном микрообъёме  $\sim 40\%$ , то следует полагать, что в результате уменьшения размера контуров экстинкции до 1,0 – 0,5 мкм локальная деформация в области наблюдаемых трещин будет еще выше (т.е.  $> 40\%$ ). Оценка локальных напряжений через дислокационную плотность даёт следующее: они близки к значению теоретической прочности. Приведенные оценки, полученные с использованием различных методик, совпадают.

Выполненный анализ позволил объяснить механизм зарождения микротрещин с последующим вероятным разрушением колеса. Одновременное наличие вышеупомянутых трех факторов является необходимым условием разрушения колеса, но недостаточным. Достаточное условие возникает, когда материал колесной стали имеет пониженное качество. Он соответствует ГОСТ, но загрязнённость находится на верхнем пределе. Разрушить бандаж из качественной стали очень трудно. Автор статьи в локомотивном депо Львов-Запад поставил такой эксперимент. Операторы плазменной установки выполняли следующую процедуру: закалка гребня на твердость 500 – 600 НВ с последующим отпуском до 180 – 220 НВ. Разрыв бандажа произошел после 36 циклов из-за термической усталости к концу второй смены. Ужесточение ГОСТ на колесную и бандажную сталь в ближайшем будущем, по-видимому, дело нереальное. В депо качество стали бандажей не определяют. Истинные причины разрушения колёс часто остаются неизвестными из-за отсутствия специализированных исследовательских центров на дорогах пост советских республик и устаревшей инструментальной базы в действующих лабораториях.

Вместе с тем, на практике наличие опасного поверхностного дефекта, который с большой вероятностью может привести к разрушению колеса, определить очень просто. Наиболее опасной по расчетам и наблюдениям является зона перехода гребня к поверхности катания. Если здесь обнаружится сеть микротрещин, напоминающую «рыбью чешую» (Рис 1), следует просто проточить колесо, не дожидаясь появления запрещенных к эксплуатации дефектов. Под «рыбьей чешуей» находится множество микротрещин (Рис.2), каждая из которых может вызвать разрушение. Данный вид поверхностного дефекта является «лакмусовой бумажкой» на низкое качество материала колёсной стали.

На мой взгляд будет не лишним внести в «Инструкцию по формированию и содержанию колёсных пар» данный вид поверхностного дефекта как несовместимый с эксплуатацией. По глубокому убеждению автора это снизит количество аварий.

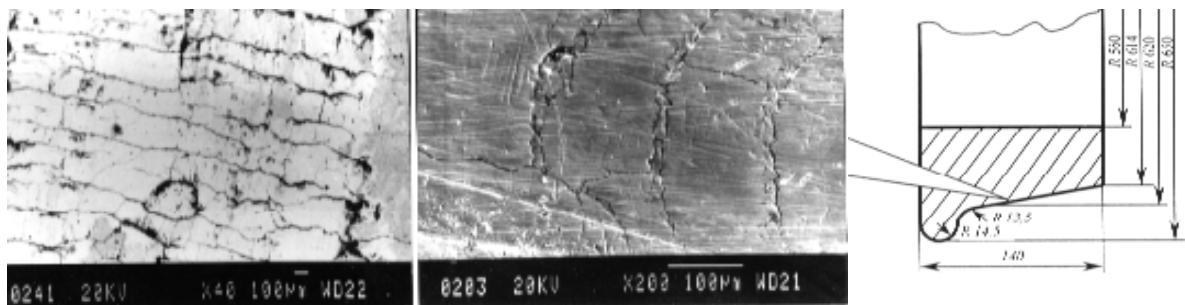


Рис.1 Поверхностный дефект «Рыбья чешуя»

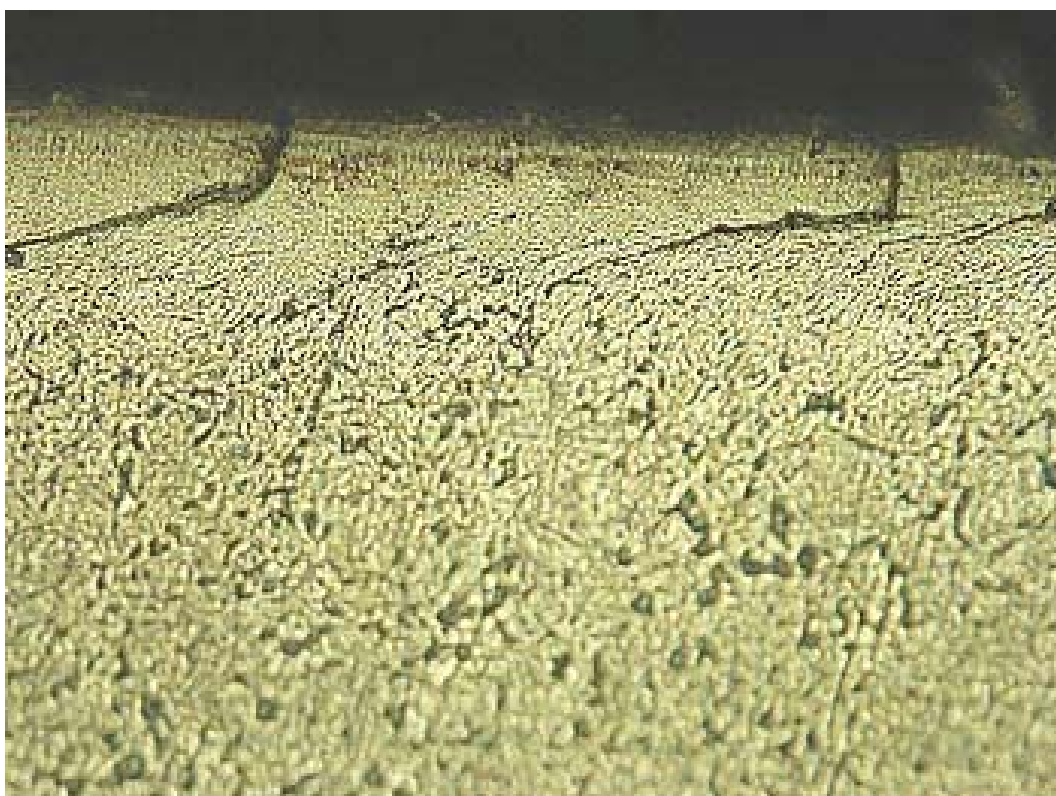


Рис. 2. Поверхностные микротрещины