

Михаил М. МАШНЕВ

## РЕСУРС ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПОЛЕС И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЕГО РЕАЛИЗАЦИИ

**Резюме.** В статье приведён краткий анализ эффективности использования ресурса железнодорожных колёс. Рассмотрены различные варианты соотношения твёрдости колеса и рельса для различных направлений. Показана возможность увеличения ресурса колёс за счет рационального проведения периодических обточек. Приведён способ уменьшения потерь колёсной стали при обточках, включающий предварительный отжиг поверхности катания токами высокой частоты.

Ресурс является одним из основных показателей долговечности и надежности деталей и сборочных единиц подвижного состава, в том числе в железнодорожных колес (колесных пар). Опыт эксплуатации подвижного состава показывает, что значительная часть отказов в пути следования и неплановых ремонтов колесных пар является следствием износа и термомеханических повреждений верхних слоев поверхности катания колес и гребня, вызванных главным образом, динамическими нагрузками в результате взаимодействия пути и подвижного состава, а также торможения. В эксплуатации колеса изнашиваются неравномерно, как по кругу катания, так и по ширине обода или бандажа. Основные виды износа и выхода из строя колесных пар — ползуны, "белые пятна", подрез гребня, раковины усталостного происхождения, наволакивание, отколы и др.

Работоспособность колес восстанавливается периодическими ремонтами. При этом наиболее распространенной операцией является восстановление профиля колес обточкой. Ежегодно только на железнодорожном транспорте подвергается таким операциям миллионы колесных пар. Важно подчеркнуть, что количество обточек с каждым годом увеличивается в связи с непрерывным увеличением объемов и темпов перевозок. Существенное влияние на это оказывает увеличение скорости движения, рост нагрузок от колес на рельсы, применение железобетонных шпал и др. Все это приводит к увеличению расхода колесной стали и возникновению нередко серьезных трудностей в обеспечении железной дороги колесами. При таких больших расходах колес на заданные объемы и темпы перевозок очень важно знать не только потребный ресурс колесных пар на заданные объемы и темпы перевозок, но и насколько эффективно используется нормативно заданный ресурс в процессе выполнения перевозок. Борьба за более эффективную реализацию заданного ресурса и экономию колесной стали на железных дорогах является большой и весьма важной и сложной не только отраслевой, но и общегосударственной проблемой страны. При этом, главным содержанием её должна быть безопасность движения.

Хотелось бы особо подчеркнуть, что в разрешении этих весьма сложных проблем до сих пор не наблюдается ни системного подхода, ни разработки модели выхода из создавшегося на протяжении многих лет ненормального положения. В свое время считалось, что наиболее рациональным соотношением твердости материала рабочей поверхности колеса к аналогичной части рельса должно быть равным 1,2. Внедрение же за последние десятилетия термической обработки рельсов и придание им твердости 360–380 НВ сыграло исключительно важную роль для улучшения работы железных дорог. Однако аналогичные меры по колесам не были проведены. В результате подобный разрыв привел к тому, что это соотношение на многих направлениях оказалось равным 0,6–0,75. К сожалению, такой технически революционный "переворот" не получил как должного анализа, так и глубокой технико-экономической оценки. Односторонний же шаг, который был предпринят без учета "интереса" колес действительно возможные материалы которых до сих пор остаются далеко полностью нераскрытыми и вряд ли кто может признать такое положение нормальным.

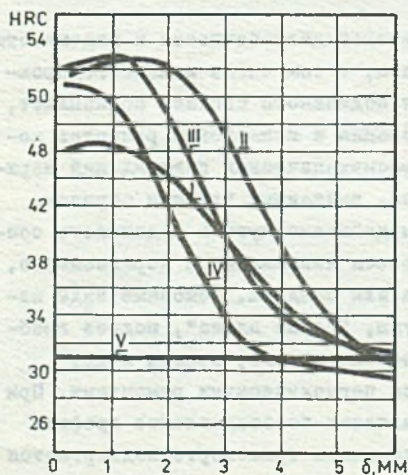


Рис. 1

На рис. 1 представлены кривые изменения физико-механических свойств по глубине закаленного слоя материала поверхности катания цельнокатанных (III и IV) и бандажированных (I и II) колес, подвергнутых упрочнению при нагреве токами высокой частоты (ТВЧ) по сравнению с теми же свойствами материала колес в их исходном состоянии — V. Анализ приведенных кривых показывает те огромные и далеко не используемые резервы, которые заключены в колесной стали. И это при условии, что по рельсовой стали такие резервы вскрыты и в значительной мере уже поставлены на службу транспорту и народному хозяйству. Однако весьма сложная проблема повышения ресурса элементов пары системы колесо-рельс по нашему глубокому убеждению может быть успешно

решена только при условии комплексного научного подхода с обязательным рассмотрением колеса и рельса как единой системы, находящейся своими элементами в постоянном силовом взаимодействии, вызывающем в них сложное напряженное состояние обуславливающее постоянно естественный износ и различные виды разрушения колес и рельсов. В отличие от последних колеса относятся к изделиям многократного использования, требующие для восстановления своей работоспособности периодических обточек колесных пар. В результате за срок их службы даже не на скоростных поездах не менее 36% рабочей толщины обода или бандажа колес срезается в стружку. К сожалению, существующий контроль

эффективности реализации заданного ресурса колес, как в условиях эксплуатации подвижного состава так и особенно при их ремонте не может обеспечить сокращения таких огромных потерь не просто колесной стали, а заданного ресурса колес, тесно связанного с обеспечением бесперебойности и безаварийности работы железных дорог.

Причем если в условиях эксплуатации подвижного состава в какой-то мере эффективность использования заданного ресурса колес оценивается на железных дорогах мало что дающим размерным критерием — средним прокатом, то в условиях ремонта восстановления профиля такой критерий вообще отсутствует. Не подлежит сомнению, что все это приводит к снижению эффективности реализации заданного ресурса колесных пар и это при наличии многих путей её повышения. Основными из которых являются:

1. Оптимизация износостойкости физико-механических свойств материала верхних слоев поверхности катания и гребня колес;
2. Восстановление физико-механических свойств материала верхних слоев поверхности катания колес подвергнутых повреждениями термической обработке перед обточкой или после неё применением для нагрева ТВЧ. Весьма важно подчеркнуть, что выбранный метод индукционного нагрева верхних слоев поверхности катания на глубину предельного проката (непрерывно-последовательный метод обкатки) колес наилучшим образом отвечает заданным условиям работы колес. Применение его дает возможность в этих слоях создать напряжения сжатия, оказывающие существенное влияние на повышение особенно их усталостной прочности;
3. Введение безразмерного параметра (вместо среднего проката) для оценки эффективности реализации заданного ресурса в конкретных условиях эксплуатации. При этом максимальное его значение может быть равным единице;
4. Введение безразмерного технологического критерия оценки экономической эффективности восстановления заданного профиля колес при ремонте с учетом состояния поверхности катания колеса и гребня.

По нашему глубокому убеждению в качестве физической модели для оптимизации износостойкости материала элементов пары системы колесо-рельс может быть принята фрикционная передача. Диаметры ведущего колеса которой определяются приведенными диаметрами колес подвижного состава — поездов. А ведомого — преобразованная длина эксплуатационного участка пути.

Оптимальная работоспособность элементов пары системы колесо-рельс возможна при условии:

$$\left. \begin{aligned} X_c &= X_1 + X_2 = \min \\ 1 &= \frac{X_1}{X_2} = \text{opt} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где

- $X_c$  — суммарный износ колеса и рельса,
- $X_1$  и  $X_2$  — износ, соответственно, колеса и рельса,
- $1$  — коэффициент относительного износа колеса и рельса.

Следует подчеркнуть, что проблема оптимизации износостойкости колеса и рельса является весьма сложной. Об этом свидетельствует то, что затянувшийся ответ на такой вопрос — что должно быть тверже колесо или рельс — к сожалению, до сих пор остается открытым, как для наших, так и зарубежных ученых. Сложность разрешения рассматриваемой проблемы обусловлена многими факторами:

Во-первых, коэффициент соотношения твердости материала колеса и рельса является величиной не постоянной, как это считалось раньше, а переменной, которая зависит от грузонапряженности железных дорог, их отдельных направлений и участков.

Во-вторых, необходимости районирования железных дорог по грузонапряженности с необходимостью составления соответствующих карт.

В-третьих, в необходимости управлять износостойкостью материала элементов пары системы колесо-рельс. В отличие от рельсов с колесами это в ряде случаев может вызвать значительные трудности, вызываемые частой неопределенностью их движения по дорогам. Но и с рельсами возникают весьма существенные трудности, но уже иного плана. Поэтому оптимизацию износостойкости материала элементов пары системы колесо-рельс следует производить на основе баланса заданного и используемого ресурса для выполнения перевозочного процесса в заданных условиях. Однако, применительно к железнодорожным колесам, обладающим свойствами многократного использования (около 4-5 раз) такого баланса ресурса практически не представляется возможным получить, так как определенная часть его каждый раз непроизводительно расходуется при восстановлении профиля колес.

Следует особо подчеркнуть, что рассматриваемая проблема относится к разряду технико-экономических. Поэтому, с одной стороны (при прочих равных условиях) с технической точки зрения оптимальные соотношения физико-механических свойств материала элементов пары системы колесо-рельс должны быть одинаковыми, то есть равными единице. Но с другой — они должны определяться экономическими приоритетами сравнительных расходов на ремонт того или иного изделия системы с учетом заданных условий их эксплуатации. Так на участках железных дорог отличающихся большой грузонапряженностью (районы Куйбышева, Урала, Сибири и др.) упомянутые выше соотношения должны быть меньше единицы (в настоящее время около 0,75). Причем повышение долговечности рельсов наряду с экономией рельсовой стали, диктуются в первую очередь, серьезными трудностями, связанными с получением временного «пока» для ремонта пути. При малой же грузонапряженности наоборот упомянутые выше соотношения, очевидно, должны быть больше единицы.

На рис. 2 показана предполагаемая зависимость между грузонапряженностью направления и отношением твердости колеса к твердости рельса. Наличие широкого диапазона изменения физико-механических свойств колесной стали дает возможность варьировать этими свойствами применительно к заданным условиям эксплуатации.

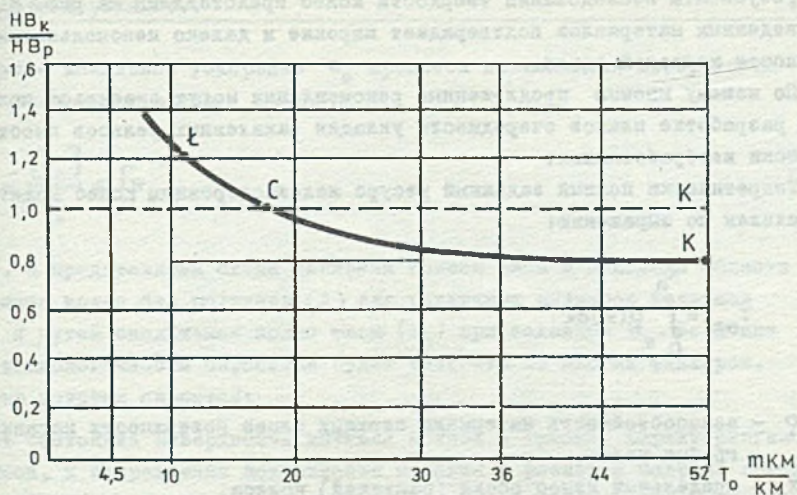


Рис. 2

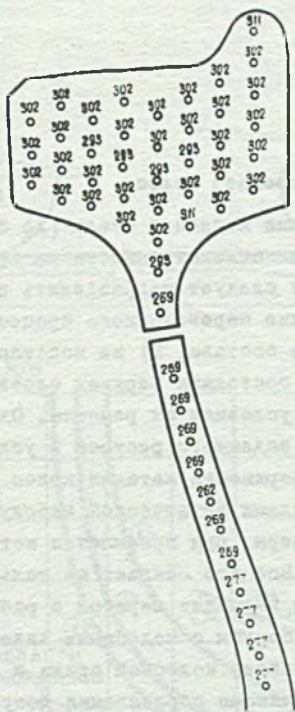


Рис. 3

Результаты исследований твёрдости колес представлены на рис. 3. Анализ приведенных материалов подтверждает широкие и далеко неиспользованные возможности колесной стали.

По нашему мнению предложенные рекомендации могут оказаться полезными при разработке планов очередности укладки закаленных рельсов вместо термически необработанных.

Теоретически полный заданный ресурс железнодорожных колес может быть определен по выражению:

$$T_{nz} = \int_0^{x_n} \varphi(x) dx \quad (2)$$

где

$\varphi$  - износостойкость материала верхних слоев поверхности катания и гребня колес,

$x_n$  - предельный износ обода (бандажей) колеса.

Межремонтный заданный ресурс колес (между обточками) определяется по равенству:

$$T_{np} = \int_0^{x_{np}} \varphi(x) dx \quad (3)$$

где

$x_{np}$  - предельный износ (прокат) колес.

В связи с большими потерями колесной стали (до 36%), по нашему глубокому убеждению, для повышения ответственности за эффективность реализации заданного ресурса, её оценку следует подразделить в зависимости от целей его расхода: 1) на выполнение перевозочного процесса в конкретных условиях эксплуатации подвижного состава, 2) на восстановление заданного профиля колес в зависимости от состояния верхних слоев поверхности катания и гребня колес в конкретных условиях их ремонта. Одной из основных причин непроизводительного расхода заданного ресурса в условиях эксплуатации является образование на поверхности катания колес ползунов при скольжении их по рельсу изом. Правилами технической эксплуатации железных дорог установлены нормы на их размеры, при превышении которых колесные пары подлежат обязательной обточке. Все это снижает не только эффективность реализации заданного ресурса но и вызывает перебой в работе транспорта.

Одним из важнейших путей борьбы с подобными явлениями служит согласование физико-механических свойств колесной стали с возможными длинами путей скольжения колес изом и величинами образования допускаемых размеров ползунов. Образование внезапных отказов по ползунам исключается при условии:

$$a_c \leq [a_c] \quad (3)$$

В этом случае локальное ускорение  $W_s$  процесса изнашивания поверхности катания колеса будет равно:

$$W_s = \frac{[a_c]}{l_s^2} \leq [W_s] \quad (4)$$

На рис. 4 представлена схема движения колеса юзом и показаны области существования колес без ползунов (Д) для различных размеров ползунов (1, 2, 3) и путей скольжения колес юзом ( $l_s$ ) при заданном  $W_s$ . Величина критерия технологичности обработки будет зависеть от многих факторов. Главными из которых являются:

- 1) учет состояния поверхности катания колеса и гребня, характеризующееся видом износа, и повреждением поверхности катания и размером подреза гребня;
- 2) принятый метод восстановления профиля катания колес с восстановлением поврежденных свойств металла поверхности катания и без него;
- 3) состояние оборудования и качество применяемого режущего инструмента.

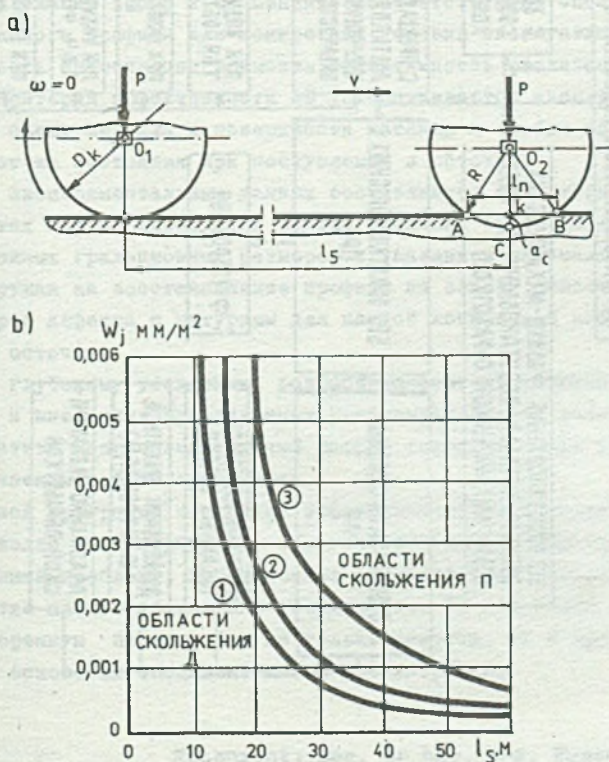


Рис. 4

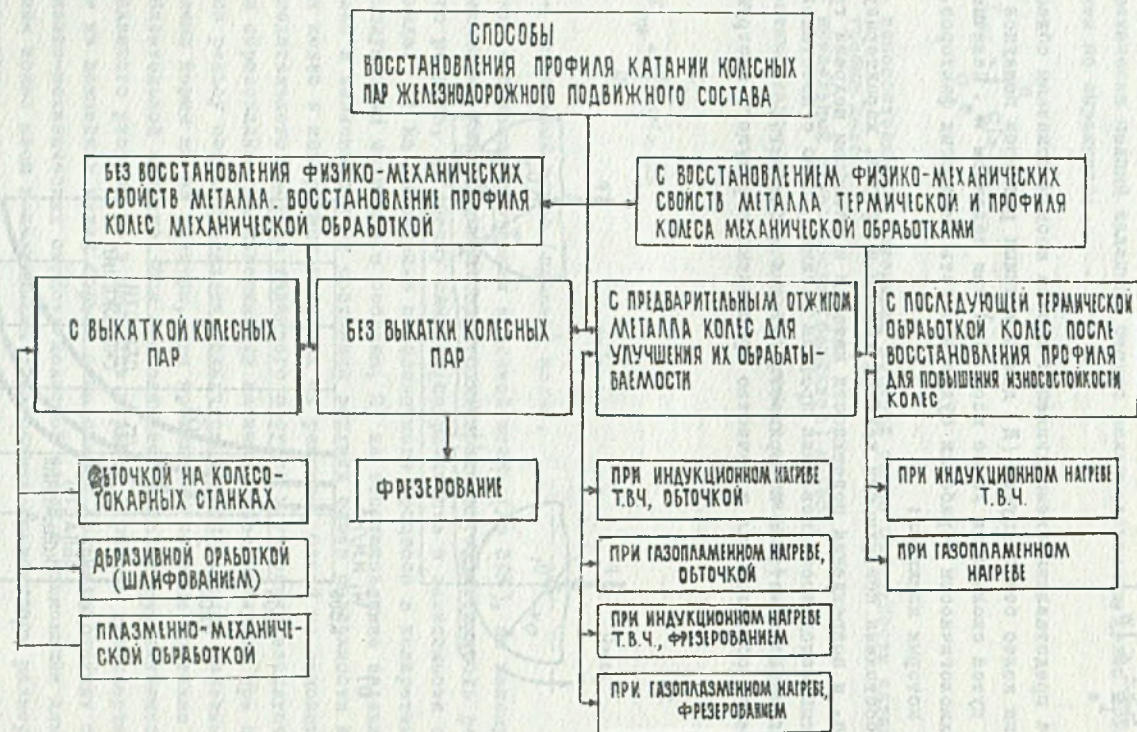


Рис. 5



На поверхности катания колес, поступающих из эксплуатации в ремонт часто находятся такие дефекты, которые вызывают серьезные затруднения при восстановлении заданного профиля обточкой. Некоторые из них, имеющие большую твердость (до 1000 НВ и более), вынуждают станочников производить резание металла при обточке под корку, захватывая 1, ..3 и более мм рабочего металла колеса, снижая тем самым без выполнения полезной работы заданный ресурс и повышая расход инструментальной стали. Для облегчения обработки и сокращения потерь колесной стали учеными ЛИИЖТа в 1961 г. разработаны методы термической обработки материала верхних слоев поверхности катания и гребня колесных пар с применением ТВЧ для нагрева. Проведенные теоретические, экспериментальные и опытные работы с использованием токов высокой частоты, как для упрочнения верхних слоев поверхности катания и гребня так и для их отжига показали большую эффективность индукционного нагрева для упомянутых выше целей. Все эти научные разработки расширяют и дают новые возможности для повышения уровня как эксплуатации так и ремонта железнодорожного подвижного состава.

На рис. 5 приведена схема классификации возможных способов восстановления заданного профиля поверхности катания колесных пар. Анализ её показывает, что надлежащий выбор и применение соответствующих способов восстановления заданного профиля для конкретных условий эксплуатации и ремонта дает возможность существенно повысить эффективность реализации ресурса колесных пар. Критерий эффективности её устанавливается экспериментально по минимальному съему металла с поверхности катания и гребня колесных пар в зависимости от их состояния при поступлении в обточку.

На основе экспериментальных данных составляются технологические карты-этапы. В этих картах приводятся эскизы типичных видов дефектов с таблицами их возможных градационных размеров с указанием минимальной толщины снимаемой стружки на восстановление профиля на основе сопоставления изображенного в карте дефекта с натурным для каждой конкретной колесной пары поступающей на обточку.

По нашему глубокому убеждению, разработка соответствующей технической документации и внедрение предложенных рекомендаций даст возможность существенно сократить непроизводительный расход колесной стали и будет способствовать улучшению работы транспорта.

В изложенной программе повышения эффективности реализации ресурса железнодорожных колес просматривается заманчивая реальная перспектива разрешения поставленной проблемы, практическое осуществление которой даст очень многое развитие нашего общества и государства. Но для этого потребуются произвести коренную перестройку не только ремонта, но и производства колес и рельсов на основе их специализации и концентрации.

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Eugeniusz Świtoński

## TRWAŁOŚĆ ZESTAWÓW KOLEJOWYCH I EFEKTYWNOŚĆ ICH WYKORZYSTANIA

## S t r e s z c z e n i e

W pracy przedstawiono analizę wykorzystania kół kolejowych. Przeanalizowano różne warianty kół i szyn kolejowych w różnych warunkach eksploatacyjnych. Pokazano możliwość zwiększenia trwałości kół kolejowych za pomocą racjonalnej obróbki skrawaniem w czasie remontu. Zaproponowano sposób zmniejszający straty materiału przy obróbce skrawaniem kół z wykorzystaniem prądów wysokiej częstotliwości.

## LONG - LIFE OF RAILWAY WHEELS AND EFFICIENCY OF ITS USE

## S u m m a r y

The relation between wheel's and rail's hardness  $ins't$ , optimum. The appearance of thermo-mechanical damages on wheel's tread during exploitation, and that's why unoptimum process of wheel's machining greatly reduces its life. According to the analysis of possible methods of wheel's profile rebuilding, the paper presents the method of increasing wheel's Life - high frequency current (HFC) tempering. This method provides the disappearance of thermomechanical damages on wheel's tread and increases the productivity of wheel's machining.