



Манаков Алексей Леонидович — кандидат технических наук, доцент, декан факультета «Строительные и дорожные машины» Сибирского государственного университета путей сообщения. Родился в 1972 г. В 1994 г. окончил Сибирский государственный университет путей сообщения. Является автором более 50 печатных работ и 2 монографий, посвященных повышению эффективности функционирования дорожно-строительного комплекса.

УДК 625.033.373

А.Л. МАНАКОВ

ФОРМИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ ТРЕНИЯ НА ОСНОВЕ КОМБИНИРОВАННОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

В статье рассмотрены механизмы и методы совершенствования эксплуатационных свойств рельсов, основанные на создании тонкого слоя твердой металлической смазки в паре трения колесо — рельс. Метод фрикционной металлизации позволяет исключить дефекты контактно-усталостной группы, а также повысить эксплуатационный ресурс за счет снижения периода приработки, уменьшения сил трения, переноса микроперемещений в промежуточный слой и создания особой структуры поверхностного слоя.

Взаимодействие колеса и рельса является физической основой движения поездов по железным дорогам. Именно оно во многом определяет безопасность, а также такие важнейшие технико-экономические показатели, как масса поездов, скорость их движения и уровень эксплуатационных расходов. При этом требования к показателям взаимодействия колес и рельсов в разных зонах контактирования противоречивы. С одной стороны, сцепление колес с рельсами должно быть таким, чтобы обеспечивалось малое сопротивление движению поезда. С другой — для реализации требуемой силы тяги необходимо обеспечивать высокий и стабильный уровень сцепления локомотивных колес с той же поверхностью.

Сложившиеся на данный момент тенденции заключаются в повышении осевых нагрузок, что связано с ужесточением требований к состоянию пути и искусственных сооружений, совершенствованием их текущего содержания и, соответственно, с увеличением затрат.

С целью повышения осевых нагрузок и тем самым увеличения грузооборота на основных магистральных линиях железные дороги могут выбрать два решения: применить технологии, позволяющие ослабить напряженное состояние в зоне контакта колесо — рельс, и повысить сопротивляемость элементов инфраструктуры увеличивающимся нагрузкам с одновременным управлением ее характеристиками по несущей способности.

В настоящее время приоритетным представляется путь ослабления напряженного состояния во взаимодействии колеса и рельса. Рассматриваются четыре основных аспекта достижения поставленной цели:

- снижение контактных напряжений при взаимодействии колесо — рельс;
- уменьшение статических и динамических вертикальных нагрузок;

- снижение поперечных сил;
- улучшение динамических характеристик подвижного состава.

Использование имеющихся в распоряжении железных дорог технических новшеств или их сочетаний в практической реализации любого из этих аспектов в разной степени изменяет энергетическую картину контакта и, соответственно, износ контактирующих тел.

Интенсивный износ гребней колес подвижного состава и боковой грани рельсов, наблюдаемый в последние годы на железных дорогах России, является следствием многофакторного изменения в течение достаточно длительного времени условий взаимодействия подвижного состава и пути, происходящего главным образом в связи с ростом объема перевозок и повышением грузонапряженности железных дорог.

Существуют два главных направления уменьшения износа как результата работы сил трения:

- снижение абсолютных значений сил трения в контакте;
- сокращение продолжительности контакта гребней колес и боковой поверхности рельсов.

Первая задача является преимущественно трибологической, вторая — затрагивает главным образом конструктивные параметры пути и ходовых частей подвижного состава, определяющие величину и продолжительность проскальзывания гребня колеса по боковой поверхности рельса.

Изучение фундаментальных закономерностей, обуславливающих характер и интенсивность износа в зоне контакта, показало, что снижение коэффициента трения наиболее эффективно влияет практически на все трибологические и силовые параметры, формируемые в зоне контакта гребней колес и боковой грани рельса в кривых участках пути.

Если бы удалось механически обработать контактирующие поверхности так, чтобы по микрогеометрии и другим показателям они совпали с приработанными поверхностями при некоторой характерной кинематике относительного движения и заданном режиме трения, то не было бы необходимости в приработке пары трения для перехода в установившуюся стадию изнашивания. Опыт показывает, что продолжительность приработки тем короче и объем изношенного металла тем меньше, чем ближе исходная шероховатость трущихся поверхностей к шероховатости их после приработки.

Поскольку к установившейся стадии изнашивания одинаковые пары трения приходят с соответственно одинаковыми шероховатостями поверхностей, то при прочих равных условиях скорость установившегося изнашивания должна быть одной и той же. Влияние исходной шероховатости поверхности на интенсивность изнашивания ограничивается стадией приработки.

При рассмотрении вопросов приработки и несущей способности поверхностей трения нельзя ограничиваться эффектами увеличения площадей касания и лучшего удержания смазочного материала поверхностями. Помимо площадей касания необходимо учитывать механизм изменения поверхностных слоев трущихся деталей, а также изменение прочих физико-химических параметров.

В процессе длительной эксплуатации при наличии скольжения гребней колес по боковой грани головки рельса формируется равновесная шероховатость контактирующих поверхностей (рис. 1). При этом в случаях отсутствия

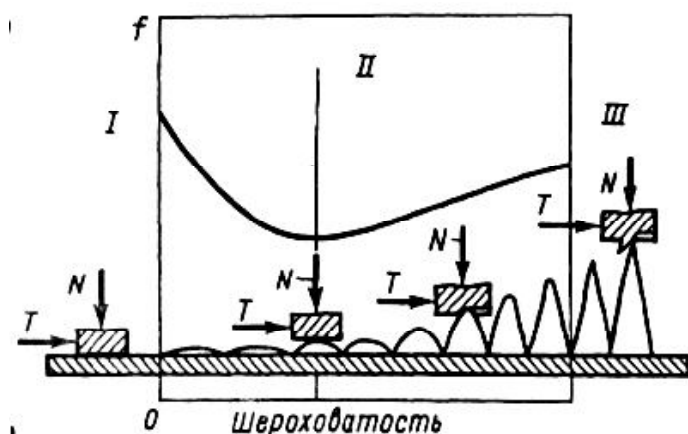


Рис. 1. Схема формирования равновесной шероховатости:

I — зона схватывания; *II* — зона механического износа; *III* — зона микрорезания; f — коэффициент трения

микронеровностей (зона *I*) они постепенно образуются и увеличиваются за счет адгезионного износа (схватывания металла) до размеров, соответствующих равновесной шероховатости. При наличии микровыступов на контактирующих поверхностях происходит их сглаживание (зона *II*). При существенных микровыступах (неровностях) на боковой грани головки рельса и (или) рабочей поверхности гребней колес происходит микрорезание металла (вершин выступов) (зона *III*).

Коэффициент трения гребня колеса по боковой грани головки рельса существенно зависит от шероховатости контактирующих поверхностей. Минимальное его значение имеет место при равновесной шероховатости, а максимальное — в местах схватывания металла (отсутствия микровыступов) и в местах микрорезания металла. Из графика на рис. 1 видно, что если бы поверхность головки рельса и гребней колес была бы абсолютно ровной (без микровыступов, шероховатости), то вследствие схватывания металла рельса и гребней коэффициент трения f был бы примерно вдвое больше, чем при равновесной шероховатости, и даже несколько выше, чем при значительных микровыступах, когда реализуется микрорезание. Другими словами, в процессе эксплуатации проявляется закономерность изменения шероховатости контактирующих поверхностей головки рельса и гребней колес к так называемой равновесной шероховатости: в местах, где микровыступов не было, они появляются, а где микровыступы были больше, чем при равновесной шероховатости, они уменьшаются до размеров, соответствующих равновесной шероховатости.

Физический смысл этого явления состоит в стремлении снижения коэффициента трения, минимум которого имеет место при равновесной шероховатости. Размер микровыступов, соответствующих равновесной шероховатости, зависит от многих факторов: удельного давления в зоне контакта, твердости металла, смазки, температуры, скорости скольжения и т. п. Однако самым главным фактором является скольжение гребней колес по боковой грани головки рельса.

Интенсивность износа гребней колесных пар и бокового износа рельсов зависит от нагруженности зоны контакта, скоростей относительного проскальзывания колеса, определяемых углами набегания колесных пар на рельсы, температуры в зоне контакта, наличия и свойств третьего тела в зоне контакта. Из всех этих параметров наиболее прямым и управляемым является введение в зону контакта третьего тела с заданными характеристиками. Именно поэтому в качестве первоочередной и наиболее быстро реализуемой меры была выбрана антифрикционная металлизация боковой поверхности головки рельсов.

Шлифование рельсов является неотъемлемой частью работ по текущему содержанию пути практически на всех железных дорогах. Шлифование позволяет устранить или замедлить развитие фрикционного и волнообразного износа рельсов, дефектов контактно-усталостного происхождения в виде выкрашивания и отслаивания металла на головке рельса. На начальном этапе организации работ по шлифованию рельсов применяли восстановительное шлифование, затем текущее и в последние годы планово-предупредительное. Дальнейшим развитием системы стало планово-предупредительное шлифование, более эффективное и экономичное. Оно объединяет положительные стороны трех предыдущих методов и позволяет оптимально организовать ремонтные работы.

Исходя из накопленного на железной дороге опыта можно предположить, что совмещение шлифования с последующей фрикционной металлизацией и поверхностным упрочнением является высокоэффективной технологией.

Цель внедрения комбинированного процесса фрикционной металлизации (ФМ) — достижение стабильного нормируемого уровня удельного износа, при котором пробег локомотивных колес до ремонта (срок службы) составляет не менее 600 тыс. км, а боковой износ рельсов исключает необходимость их внеплановой замены до достижения нормативного пропущенного тоннажа, прежде всего в кривых малого радиуса.

Анализ динамики изменения показателей износа локомотивных колес и бокового износа рельсов, эксплуатируемых в широком спектре климатических зон, при различных планах и профилях структуры пути, его конструкции и качества текущего содержания, типах локомотивов и размерах грузооборота позволил установить, что металлизация боковой грани рельсов обеспечит следующее:

- многократное снижение удельного износа гребней колес подвижного состава и рельсов;
- сведение к минимуму влияния таких факторов, как кривизна пути, величина возвышения наружного рельса в кривых, крутизна подъемов и спусков;
- уменьшение вероятности схода с рельсов вагонов даже с неудовлетворительными ходовыми качествами.

Методом фрикционной металлизации можно создавать равномерный, сплошной, хорошо скрепленный со стальной основой слой мягкого металла, такого как медь, латунь, бронза, снижающего коэффициент трения в соединении. Он представляет собой тонкий промежуточный слой, в который переносятся микро-смещения и который способствует тонким структурным изменениям в поверхностном слое детали, происходящим в результате воздействия давления и температуры.

Суть метода ФМ заключается в том, что при трении медного или латунного прутка о поверхность основание покрывается тонким слоем, не отличающимся от исходного. Здесь материал переносится крупинками, которые прочно схватываются со стальной основой и имеют между собой определенную связь.

Применение этого метода позволяет создавать на поверхности стальной детали слой меди толщиной, достигающей 6 мкм, сплошностью 60 % и чистотой поверхности, близкой к исходной. Экспериментально доказано, что металлизированная поверхность дает возможность увеличить предельную нагрузку в паре

трения в 1,4 раза, а при наличии смазки почти в три раза, снизить коэффициент трения с величины 0,25–0,30 до 0,08–0,1.

По результатам исследований сделан вывод о том, что создание особой структуры поверхностного слоя стальной детали посредством метода ФМ является еще одним направлением совершенствования эксплуатационных свойств. Варьируя режимы ФМ, можно получать различные структуры в поверхностных слоях углеродистых и легированных сталей с заданными механическими характеристиками.

В общем виде ФМ можно представить как технологию комплексного воздействия, приводящего к уменьшению шероховатости до равновесной величины, созданию слоя твердой смазки и структурным превращениям в поверхностном слое деталей.

Предложенная технология способствует снижению интенсивности изнашивания при ограниченной смазке и сокращению времени приработки в паре трения колесо — рельс.

Современные теории о взаимодействии пути и подвижного состава, трибологии и инженерии о поверхностях трения позволяют сделать качественно новый шаг в процессе оптимизации взаимодействия колеса с рельсом и повышения на этой основе срока их службы. С другой стороны, применяя современные технологии, можно решать задачи управления ресурсом рельсов по износу и контактной усталости, изнашиванием элементов пары, по оценке различных способов упрочнения поверхностей трения, системы мониторинга и принятия технологических решений по обеспечению заданного срока службы колес подвижного состава и рельсов.