

Развитие технологий шлифования рельсов

Применение техники шлифования для обеспечения движения поездов с минимальными вибрациями и уровнем шума является важной составляющей процесса текущего содержания пути. Вследствие растущих осевых нагрузок, скорости и мощности тягового подвижного состава принципиальное значение для обеспечения пониженных динамических нагрузок на путь получает выбор оптимального сочетания профиля колеса и поперечного профиля рельса. Периодическая обработка головки рельса постоянно обеспечивает не только хорошие условия контакта, но также снижает опасность возникновения усталостных дефектов, вызванных качением колес по рельсам. Такие дефекты могут приводить к тяжелым последствиям, например к излому рельса.

Если сегодня при определении затрат на текущее содержание верхнего строения пути возникает вопрос о шлифовании рельсов, то обсуждают не его целесообразность, а частоту проведения. Шлифование рельсов стало неотъемлемой составляющей работ по текущему содержанию пути, тогда как еще в начале 1980-х годов оно рассматривалось как роскошь, которую позволяли себе лишь некоторые железнодорожные компании, если требовалось обеспечить снижение уровня шума.

Понятие «шлифование рельсов» известно в литературе уже давно. Еще в начале XX в. в специальной литературе сообщалось о явлении *roaring rails* (рельсы с рифленой поверхностью). При этом речь шла о рельсах, поверхность катания которых при утрате плоскостности заметно повышала уровень шума при движении. Геометрический феномен, выразившийся в чередовании блестящих приподнятых пятен повышенной твердости и темных впадин между ними, получил название рифлей.

Частично такие неровности, вызывающие повышенное шумообразование, устранялись с помощью

примитивных шлифовальных вагонов. Речь при этом шла об абразивных блоках, которые располагались в вагоне таким образом, что при нажатии на них сверху и продольном перемещении при каждом проходе с рельсов снимался небольшой объем металла. Два мощных паровоза перемещали такой вагон возвратно-поступательно со скоростью около 25 км/ч по участку с рифлями. Такие перемещения выполнялись до тех пор, пока не достигалась достаточная плоскостность. При этом сечение абразивных блоков подгонялось к обычному рабочему профилю рельса, который в результате не слишком изменялся при обработке.

Устранение рифлей и волн

Впервые обработка рельсов вращающимися шлифовальными кругами была внедрена в Америке. Вместо перемещаемых статических абразивных блоков здесь стали применять шлифовальные круги или кольца, которые приводились во вращение двигателями. Скорость резания металла абразивными зернами при этом значительно возрастала. В Европе эта технология внедрена в 1960 г. компанией *Speno International*.

Шлифовальные круги в небольшом вагоне располагались таким образом, чтобы охватывалась вся зона, обрабатываемая ранее обычными абразивными блоками. Благодаря этому стало возможным за значительно меньшее число проходов гибко обрабатывать короткие участки пути. Распространение обрабатываемой зоны на рабочую грань головки рельса и поверхность катания позволяло эффективно снимать металл и тем самым выполнять определенную работу по профилированию. Наконец, с помощью больших шлифовальных поездов, оснащенных 96 шлифовальными камнями, начали обрабатывать головку рельса с целью придания ей нового профиля. При этом необходимое число проходов зависело от состояния профиля.

Выбор фиксированного положения шлифовальных камней зависел от требуемого рода работы: устранения рифлей и волнообразного износа или профилирования головки.

В кривых малого радиуса устранение волн проскальзываний из-за их большой глубины и обусловленной ею пластической деформации головки рельса часто требовало 30 и более проходов. Измерительная техника уже тогда позволяла определять глубину волн во время шлифования с точностью до сотых долей миллиметра, даже если они грубо классифицировались на короткие и длинные.

В 1980 г. на метрополитене Мюнхена рельсы обрабатывали с помощью шлифовального поезда *URR28 E/S3*, оснащенного 28 шлифовальными кругами, из которых шесть в фиксированном положении обрабатывали на одном рельсе рабочую грань головки рельса, а восемь других могли поворачиваться на угол ± 10 град относительно продольной оси рельса. Благодаря дополнительным дифференцированным прижатиям было возможно ограниченное изменение поперечного профиля. Вопрос о получении специально заданного конечного профиля тогда еще не стоял вообще.

Первым умеренным желанием было приближение к профилю нового рельса. Хотя идея получения специального профиля в основном за счет сдвига поверхности катания на несколько миллиметров для снижения бокового износа наружного рельса в кривой уже имелась, для ее реализации требовался некоторый подготовительный период.

В то время большая часть парка шлифовальных поездов оснащалась фиксированно установленными вращающимися шлифовальными кругами. Увеличение или уменьшение съема металла, например, с наружной стороны головки или на ее рабочей грани достигалось за счет соответствующего повышения усилия нажатия при одновременном снижении давления кругов, обрабатывающих поверхность катания. Измерение поперечного профиля в принципе отсутствовало в силу отсутствия необходимых для этого приборов.

В связи с этим неудивительно, что после шлифования рельсов положение поверхности катания на разных участках оказывалось различным. При многократном шлифовании вообще часто образовывались два положения — одно, более широкое, в середине рельса, а второе, узкое, — со стороны рабочей грани головки рельса. Возникавшие при этом между двумя поверхностями катания полосы, по которым не происходило качения колес, были тогда предметом бурных обсуждений как феномен «коричневых полос». Исследования показали, что на машинах с гибкой системой регулирования при некоторых углах установки фиксированных кругов происходило излишнее снятие материала в критических местах.

Изменение профиля катания и измерения

Работы по изменению профиля рельса получили свое развитие с появлением приборов для измерения поперечного профиля головки

рельса. Первый такой прибор типа BQM изготовила компания Ba-Be-D – Daimler. Последняя его модификация DQM применяется и сейчас компанией Speno. Благодаря наличию такого прибора появилась возможность точно измерять поперечный профиль после каждого прохода и соответствующим образом корректировать набор углов шлифования. Это позволяло, с одной стороны, учитывать состояние профиля, определяемое путем обмеров, с другой стороны, повышало точность реализации заданного профиля.

В рассматриваемый период считали, что поперечный профиль должен по возможности приближаться к профилю нового рельса. Вытекающее отсюда суждение о том, что измеренный после шлифования профиль должен быть ближе к заданному, чем до шлифования, естественно, допускало большой диапазон оценок успешности проводившихся работ. Технические дискуссии на эту тему в основном были посвящены определению степени несовпадения при наложении заданного и реального профилей, а также диапазону допусков и допустимых отклонений.

Следующим этапом развития системы измерения профиля стало появление в 1990-х годах приборов, работающих с использованием лазерной техники. В тот период при измерениях профиля обычными были отклонения до 1 мм. Сейчас такие большие значения допустимы только на второстепенных путях. Требуемые отклонения, которые равны или меньше 0,3 мм, сегодня скорее норма, чем исключение.

Одновременно с разработкой точных приборов для измерений поперечного сечения проходило также уточнение нового конечного профиля рельса при шлифовании. Идея «асимметричного профиля» привела в Австрии к обширной серии экспериментов, которые в итоге закончились принятием механизма,

регулирующего ее применение для изнашивающихся рельсов в кривых малого радиуса. Если первоначально измерениям плоскоизношенного профиля по поверхности катания не придавали особого значения, то с течением времени утвердилось мнение о том, что взаимодействие обоих компонентов профиля рельса (по поверхности катания и по рабочей грани) важно для оптимального прохождения кривых.

Изучение допусков профилей и настройки шлифовальных поездов, а также исследования в области взаимодействия колеса с рельсом способствовали разработке новых специальных профилей, которые реализовались путем шлифования в пути. Это позволило получить адаптированные к износу профили, согласующиеся с характерными изношенными профилями колеса, которые получают, например, при движении тяжеловесных поездов с высокой осевой нагрузкой. В связи с высоким пробегом, выполняемым колесными парами таких поездов, профили их бандажей изготавливали с повышенной выпуклостью, что способствовало уменьшению высоких пиков напряжений в рабочей грани головки рельса.

Профили уширения колеи, которые успешно применяются в суженной колее для увеличения плавности хода, нашли отражение в технических инструкциях DB Netz. Особые профили, например такие, как разработанные в Австрии «выпуклые» рельсы, могут не только корректировать нестабильный ход подвижного состава, но и способствовать значительному снижению усталости рабочей грани головки рельса.

Усталость при контакте качения

Одновременно с внедрением непрерывного измерения поперечного профиля открылся новый круг проблем: если раньше явления усталостного износа рабочей грани

головки рельса и поверхности катания в виде сеток микротрещин и выщербин были темой рассмотрения на линиях с осевой нагрузкой более 25 т, то теперь они рассматриваются и на линиях с традиционным смешанным движением. В настоящее время повышенные требования к поверхности катания рельса обусловлены следующими факторами: более высокой осевой нагрузкой при возрастающей скорости даже ранее медленных грузовых поездов, заметно возросшей скоростью пассажирских поездов и особенно высокой силой тяги современного подвижного состава, реализуемой с контролем проскальзываний. Все это способствует сначала умеренному, а затем взрывному росту усталости от контакта качения.

Опыт тяжеловесного грузового движения указывает на эффективность применения технологии шлифования рельсов. Уже упоминавшиеся адаптированные к износу колес профили рельсов стали стандартом, и верхние усталостные или поврежденные усталостью зоны регулярно сошлифовываются. В ходе выполняемого при содействии комиссии ЕС научно-исследовательского проекта Innotrack был опубликован документ, содержащий указания по устранению мест усталостного износа и снижению усталости от контакта качения. Этот документ (Guidelines for Management of Rail Grinding) не только предлагает систематизированное применение специальных профилей, но и содержит указания по величине съема металла и циклам шлифования.

Измерения трещин и развитие техники шлифования

Без метрологического учета подлежащих обработке дефектов успех от шлифовальных работ достигается лишь в ограниченной степени. Так, технология циклической обработки рельсов с усталостными повреждениями на линиях с тяжеловесным

движением является результатом длительных наблюдений и опыта: повторяющимся поверхностным повреждением противодействуют более или менее интенсивный съем металла и соответствующее укорочение интервалов между такими съемами. Однако фактический уровень повреждений при этом оставался неизменной величиной, причем здесь исходили из того, что бездефектное состояние вряд ли достижимо.

Измерение съема металла было косвенным, так как при этом регистрировалась не фактическая глубина съема, а только уменьшение глубины повреждений. В связи с этим особо эффективным следует признать сочетание техники шлифования и вихретоковых измерений, так как здесь благодаря точным измерениям абсолютного съема металла (высоты и поперечного профиля рельса перед шлифованием и после него) бортовая система измерений трещин в головке может быть в любое время откалибрована.

Следует отметить, что высокоточное размещение вихретоковых зондов является особым требованием. Такие же требования предъявляются и к необходимому для обработки данных программному обеспечению, которое должно учитывать местные условия на линии. Затраты оказались не слишком высокими, благодаря чему уже несколько шлифовальных поездов оснастили новой системой. Благодаря этому впервые стало возможным контролировать процесс шлифования по трем координатам.

С разработкой новой измерительной системы ужесточились требования к эффективности использования шлифовальных поездов и повышению их производительности. Первоначально рельсы шлифовали лишь в незначительных объемах, так как первые шлифовальные поезда обладали ограниченными показателями гибкости и производительности. Требовавшееся большое число рабочих проходов было

причиной продолжительных перерывов в движении поездов. При оценке шлифовальных работ стоимость съема металла за один проход пересчитывали на число обработанных метров пути и в результате получали высокие финансовые затраты. С течением времени благодаря применению более мощных двигателей и разработке высокопроизводительных шлифовальных кругов удалось заметно повысить удельный съем металла на один проход поезда.

В ноябре 1983 г. в районе станции Ротенбург-на-Вюмме проводили приемку сцепа из двух шлифовальных поездов — RR 1205 А и RR 1205 В. Средний установленный съем металла в процессе устранения рифлей при одном проходе этого сцепа с 96 шлифовальными кругами и рабочей скоростью 5 км/ч составил 0,03 мм. Однако уже в январе 2009 г. во время экспериментального шлифования в районе Баден-Бадена сцепом поездов RR 48 М-2 и RR 48 М-3 (рис. 1) с тем же числом шлифовальных кругов, но со скоростью 8 км/ч минимальный съем за один проход составил 0,34 мм.

Для повышения производительности шлифования и улучшения условий труда в шлифовальных поездах было сделано очень многое. Здесь следует упомянуть систему удаления шлифовальной пыли и эргономичный дизайн кабины машиниста. Оптимальный обзор пути, удобное расположение элементов управления и монитора,



Рис. 1. Рельсошлифовальный поезд RR 48 М-3



Рис. 2. Поезд RR 16 MS для шлифования рельсов на стрелочных переводах

наличие сенсорного экрана обеспечивают высокопродуктивную работу персонала.

Обработка рельсов в стрелочных переводах

Особого упоминания заслуживает разработка техники шлифования для стрелочных переводов. Уже упоминавшийся шлифовальный поезд URR28-S3 с дополнительным специальным вагоном, оснащенным шлифовальными кругами малого диаметра, в ограниченных объемах мог вести обработку в зоне контррельса и остряка. Эта техника тогда использовалась только на железнодорожных переездах и участках с контррельсами. Первый образец поезда для шлифования рельсов в стрелочных переводах (URR 16P-U) был опробован в Германии в 1984 г. Полученный при этом опыт привел, наконец, к созданию более совершенного шлифовального поезда RR 16 P/D, который был специально предназначен для работы на стрелочных переводах. Последняя модификация этого поезда RR 16 MS (рис. 2) укомплектована системой отсасывания пыли и тремя измерительными системами.

Стратегии шлифования

Накопленный за последние годы опыт шлифования рельсов в пути и развитие высокопроизводительных

поездов и высокоточных измерительных приборов способствовали тому, что подход к вопросу о необходимости шлифования коренным образом изменился. Уже никто не сомневается в том, что высоконагруженный путь как на высокоскоростных пассажирских, так и на грузовых линиях нельзя экономично поддерживать в нужном техническом состоянии без шлифования рельсов.

Достаточно оправданной является идея шлифования рельсов перед сдачей в эксплуатацию новой линии. Благодаря этому могут быть устранены все неравномерности, обусловленные строительными работами и возможным суммированием монтажных допусков. Можно получить безупречный путь, который максимально замедлит процесс возникновения поверхностных дефектов. После замены рельсов при наличии больших окон также следует планировать применение шлифовальных поездов.

Если все-таки в процессе эксплуатации образуются неплоскостности поверхности катания, то при превышении установленных (обычно низких) пороговых значений они оперативно устраняются. В случае возникновения усталостных дефектов, вызванных процессом качения, их следует устранять как можно раньше. Поскольку проблемы плоскостности раньше или позже возникают, рекомендуется проведение циклических шлифовальных работ. Благодаря известным из опыта и метрологически зарегистрированным основным параметрам пути можно своевременно планировать требуемые мероприятия по шлифованию.

В зависимости от намеченной программы работ по текущему содержанию пути могут быть определены оптимальные, т. е. возможно более длительные, окна для максимального использования шлифовальных мощностей. При расчетах затрат на одну смену и на

возможный в данном случае максимальный объем работ получают значительно меньшие удельные расходы на 1 м пути, чем при внеплановых корректирующих работах на ограниченных по длине участках.

В ходе уже упоминавшегося проекта Innotrack обращалось внимание на то, что при долгосрочном планировании и логистически благоприятном использовании шлифовальных поездов следует ожидать более благоприятных результатов. При этом в первую очередь уделялось внимание технологии шлифования за один проход. Здесь имеется в виду весь комплекс работ, которые могут быть выполнены за один проход поезда. Естественно, что для этого необходимы высокопроизводительные машины, которые из-за высокой стоимости должны по возможности работать без больших простоев.

Если при циклическом применении шлифовальных поездов исходить из среднего съема металла до 0,3 мм (большого на поврежденной усталостью рабочей грани и меньшего в середине головки рельса), то современные высокопроизводительные машины, как отмечалось ранее, могут обрабатывать за 1 ч до 10 км пути. При оптимальных, стратегически программируемых работах таким образом можно планировать за 10-часовую смену 5 ч чистого шлифования, что в идеальном случае соответствует сменной производительности 50 км.

Таким образом, применение современной шлифовальной техники имеет явные преимущества в системе текущего содержания пути в виде значительного увеличения срока службы, достигаемого регулярной обработкой, и низких затрат в расчете на планируемые идеальные условия.

По материалам компании Speno International (www.speno.ch); ZEVrail, 2010, № 5, S. 170–178.