

Скоростное шлифование рельсов

Компания Stahlberg Roensch (SRL), дочерняя корпорации Vossloh Rail Service (VRS), Германия, разработала новый прогрессивный метод высокопроизводительного шлифования рельсов, который уже доказал свою эффективность на скоростных линиях Федеральных железных дорог Германии (DB).

В последние 15 лет на железных дорогах существенно изменились задачи, стоящие перед службами, ответственными за техническое состояние пути и подвижного состава. В 1990-х годах первостепенное значение придавалось уменьшению износа колес и рельсов, но в настоящее время самое пристальное внимание уделяется проблеме сокращения проявлений контактной усталости качения (rolling contact fatigue, RCF) и интенсивности волнообразного износа поверхности катания рельсов. Волнообразный износ рельсов, помимо прочих отрицательных последствий, вызывает повышение уровня шума, излучаемого при движении поездов, и увеличение расходов на текущее содержание верхнего строения пути. Контактная усталость качения обуславливает уменьшение срока службы рельсов и является одним из источников рисков в отношении безопасности движения. Опыт DB свидетельствует, что дефекты, обусловленные RCF, прогрессируют в экспонентной зависимости — медленно в начальной стадии и быстро в процессе дальнейшего развития.

Контактно-усталостные дефекты в головке рельса проходят три стадии: возникновение микротрещин (еще не поддающихся обнаружению), рост трещин (уже обнаруживаемых средствами неразрушающего контроля) и приближение трещин к пределам допустимого. Трещины на третьей, последней стадии развития, если их не устранить,

начинают распространяться вглубь головки рельса с непредсказуемой скоростью.

Эффективное противодействие развитию дефектов контактно-усталостного происхождения требует разработки и внедрения новых технологий. При этом уже практически исчерпан резерв дальнейшего совершенствования характеристик металлов и сплавов, используемых для изготовления рельсов и колес, с целью снижения их износа. Причины этого заключаются в том, что в применяемых в настоящее время материалах RCF-дефекты возникают раньше, чем наступает критическая стадия износа. К тому же повышение интенсивности перевозочного процесса требует увеличения объема работ по текущему содержанию пути, в том числе и рельсов, при одновременном уменьшении возможностей предоставления для этого окон достаточной продолжительности. В связи с

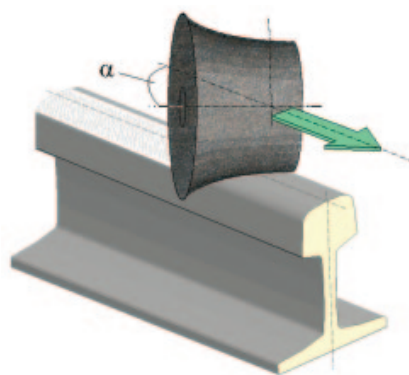


Рис. 1. Принцип скоростного шлифования рельсов

этим необходимы новые технологии текущего содержания и ремонта пути, минимально влияющие на нормальную организацию движения поездов, поскольку в ближайшем будущем предоставление окон для выполнения путевых работ станет еще более затруднительным.

Технология HSG

Принимая во внимание вышеизложенные факторы, компания Stahlberg Roensch (SRL) разработала высокоэффективную технологию, получившую название «скоростное шлифование рельсов» (high-speed grinding, HSG). Технология основана на одновременном шлифовании верхней и боковой рабочих поверхностей головки рельса с помощью шлифовальных камней специальной формы, которые, свободно вращаясь на оси, прижимаются соответствующим механизмом к головке рельса под заданным углом и силами трения приводятся в «пассивное» вращение по мере линейного перемещения рельсошлифовальной машины (рис. 1). Такое техническое решение исключает необходимость в приводе для принудительного вращения шлифовальных камней, существенно упрощает устройство рабочих органов машины и уменьшает их габариты. Таким образом, интенсивность шлифования определяется скоростью перемещения рельсошлифовальной машины и заданным усилием прижатия шлифовальных камней к головке рельса. При этом волнообразный износ сглаживается за счет расширения зоны контакта шлифовальных камней с рельсом, а восстановление заданного профиля поперечного сечения головки рельса

обеспечивается за счет подбора оптимальной конфигурации камней.

Предложенная технология позволяет снять с головки рельса слой металла тонкий, но достаточный для предотвращения контактно-усталостных явлений на поверхности рельса, которые могут стать причиной образования трещин и других дефектов. После шлифования по технологии HSG RCF-дефекты с головки рельса удаляются, а шероховатость поверхности составляет 5–10 мкм.

Периодическое шлифование рельсов с использованием данной технологии улучшает состояние рельсов с точки зрения контактной усталости качения и волнообразного износа, а также обеспечивает постоянство профиля рабочих поверхностей рельсов. В результате снижается уровень шума, излучаемого при движении поездов, и напряжений, возникающих в элементах верхнего строения пути.

Рельсошлифовальная машина RC-01

Основные сведения

На разработанной и изготовленной компанией SRL рельсошлифовальной машине типа RC-01 (рис. 2) установлены по 48 шлифовальных камней для обработки каждой рельсовой нити, которые сгруппированы в четыре шлифовальных блока. Крепление шлифовальных блоков позволяет легко и просто заменять изношенные камни.

Конструкция машины RC-01 позволяет выполнять шлифование при движении с высокой скоростью без необходимости в снятии каких-либо элементов верхнего строения пути или устройств систем сигнализации, а также обрабатывать рельсы на стрелочных переводах и автомобильно-железнодорожных переездах без снижения скорости. Таким образом, машина RC-01 является первой сре-



Рис. 2. Рельсошлифовальная машина RC-01 в работе

ди машин аналогичного назначения имеющей рабочую скорость до 80 км/ч.

Федеральное железнодорожное ведомство Германии (EVA) и DB одобрили широкое использование этой машины на сети железных дорог страны.

В процессе шлифования машина снимает за один проход с рабочих поверхностей рельса слой металла толщиной порядка 0,05 мм в зависимости от результатов заранее выполненных по выборочной методике измерений профиля рельсов. В соответствии с согласованной между SRL и DB технологией необходимо удалять с поверхности рельсов слой толщиной не менее 0,1 мм (именно в этом слое возникают контактно-усталостные явления). Для гарантированного удаления подверженного отрицательным воздействиям слоя металла осуществляются два прохода грубого шлифования с использованием обычных шлифовальных камней и затем еще один проход чистового шлифования камнями мелкой фракции с подачей (или без подачи) воды, чем обеспечивается требуемая шероховатость поверхности рельсов.

Необходимым условием высокой эффективности технологии

HSG является предварительное поддержание геометрических параметров головки рельсов в заданных пределах и отсутствие на ее поверхности существенных повреждений до шлифования. Следует отметить, что данная «тонкая» технология не предназначена для устранения дефектов, находящихся на глубине более 0,2 мм, или для существенного изменения профиля рабочих поверхностей рельсов. Имеющийся до шлифования профиль рельсов в основных чертах сохраняется и после него, поскольку, согласно концепции технологии HSG, шлифовальные камни приспособляются к рельсу, а не наоборот.

Экспонентное развитие RCF-дефектов осложняет их прогнозирование и контроль. В связи с этим расходы жизненного цикла рельсов существенно возрастают из-за вынужденной (иногда преждевременной) их замены или проведения требующих значительных расходов работ по их восстановлению такими традиционными методами, как обычное шлифование или фрезерование.

В целях исключения необоснованных расходов на замену или восстановление рельсов DB планируют увеличить жизненный цикл рель-

сов, исключив возникновение явлений контактной усталости качения и волнообразного износа рабочих поверхностей рельсов, и таким образом минимизировать нарушения нормального движения поездов из-за выполнения путевых работ.

Практическое применение

В решении этой задачи первостепенное значение имеет предотвращение проявлений контактной усталости качения, чему во многом способствует применение технологии HSG. Первая рельсошлифовальная машина типа RC-01 эксплуатируется на высокоскоростной линии длиной 171 км Нюрнберг — Ингольштадт — Мюнхен и обеспечивает поддержание рабочих поверхностей рельсов в отличном состоянии, а также предотвращает развитие RCF-дефектов на ранних стадиях. Применение данной технологии на высокоскоростной линии в порядке эксперимента имеет целью оценку ее эффективности на долгосрочную перспективу.

(В мае 2006 г. на юге Германии были завершены строительство нового высокоскоростного участка Нюрнберг — Ингольштадт и реконструкция действующего участка Ингольштадт — Мюнхен. Регулярное движение высокоскоростных поездов открыто в декабре того же года.

На новом участке длиной 90 км уложен путь на плитном основании с рельсовыми плетями длиной по 120 м, сваренными методом стыковой сварки с оплавлением в плети бесстыкового пути, благодаря чему стало возможным движение поездов со скоростью до 300 км/ч и, соответственно, время хода между Нюрнбергом и Ингольштадтом было сокращено с 66 до 27 мин. На участке имеются кривые минимальным радиусом 4000 м с возвышением наружного рельса до 160 мм и уклоны крутизной до 20‰; грузовые перевозки здесь исключены.)

До начала коммерческой эксплуатации участка Нюрнберг — Ингольштадт на всем его протяжении новые рельсы типа UIC 60 E2 подверглись обработке обычной шлифовальной машиной со снятием поверхностного обезуглероженного слоя толщиной 0,3 мм.

После начала регулярного движения поездов DB приняли решение применить технологию HSG с целью реализации принципа предупредительного технического обслуживания для устранения волнообразного износа рельсов и снижения вероятности возникновения RCF-дефектов за счет регулярного удаления слоя металла, подверженно контактной усталости качения, а также в целях соответствующего снижения расходов на текущее содержание пути и улучшения его технического состояния. С учетом уже имеющегося опыта эксплуатации других высокоскоростных линий было принято решение об удалении с рабочих поверхностей рельсов поверхностного слоя толщиной 0,1 мм один раз в четыре месяца, что по цикличности примерно соответствует обычному шлифованию рельсов после пропуска поездов с нагрузкой в 4,5 млн. т брутто.

Указанная толщина снимаемого при каждом цикле обработки слоя металла определена по результатам проведенных DB исследований, которые свидетельствуют о том, что именно в таком слое металла зарождаются явления поверхностной усталости качения и для его удаления наиболее подходит технология HSG.

В январе 2008 г. DB приступили к реализации полномасштабной программы периодической обработки рельсов с использованием данной технологии. Предварительные обследования поверхности рельсов методом вихретоковой дефектоскопии показали, что к тому времени возникли лишь незначительные RCF-дефекты, которые вполне могут быть удалены при

очередной обработке с использованием рельсошлифовальной машины RC-01. Скоростное шлифование рельсов осуществлялось в периоды ночных технических перерывов в движении поездов, т. е. без помех нормальной эксплуатационной деятельности.

Для проверки результатов использования технологии HSG утверждена программа тщательного обследования рельсов, увязанная с упомянутой программой шлифования. Обследования включали металлургический анализ металла рельсов, измерения геометрических параметров головок и вихретоковую дефектоскопию. Полученные результаты резко контрастировали с результатами аналогичного обследования специально выбранного контрольного участка пути, который не подвергался обработке по новой технологии после изначального шлифования рельсов в 2006 г. Так, после скоростного шлифования в рельсах вообще не осталось RCF-дефектов, которые до шлифования распространялись на глубину до 0,16 мм, в то время как на контрольном участке в период между очередными циклами обработки глубина проникновения таких дефектов в металл головки рельсов увеличилась в самой критической точке с 0,14 до 0,33 мм.

Таким образом, результаты обследования рельсов свидетельствуют о высокой эффективности технологии HSG: в то время как на контрольном, не подвергавшемся обработке по данной технологии участке отмечены прогрессирующие RCF-дефекты, на работающем в таких же условиях обработанном участке не обнаружено ни RCF-дефектов, ни волнообразного износа рельсов.

Вихретоковая дефектоскопия

Вихретоковый контроль состояния рельсов, осуществленный перед первым циклом шлифования в январе 2008 г., показал наличие мел-

ких (порядка 0,1 мм) трещин на поверхности головок рельсов во всех точках обследования по длине участка. После этого было проведено скоростное шлифование рельсов на всем протяжении участка, за исключением двух контрольных отрезков с двумя точками обследования.

Затем дефектоскопию повторили перед вторым циклом обработки по технологии HSG в мае 2008 г. Как и в предыдущем случае, были обнаружены поверхностные трещины на глубине до 0,3 мм, но только на контрольных отрезках, не обработанных по новой технологии. На всем остальном протяжении участка трещины обнаружены не были. Кроме того, до и после скоростного шлифования были проведены измерения поперечных и продольных геометрических параметров головок рельсов, результаты которых показали, что после четырех циклов обработки с использованием машины RC-01 и удаления с поверхности рельсов слоя металла толщиной примерно 0,5 мм геометрия рельсов осталась вполне приемлемой.

В целях проверки структуры металла специалисты DB вырезали на эксплуатируемом участке фрагмент рельса и провели соответствующие исследования, которые показали отсутствие каких-либо структурных отклонений.

Таким образом было установлено, что использование технологии HSG не влечет за собой никаких негативных или неконтролируемых последствий, таких, например, как возникновение в рельсах поверхностных трещин.

К середине 2009 г. рельсы на участке Нюрнберг — Ингольштадт уже 4 раза подверглись шлифованию по технологии HSG, и в них не обнаружено существенных изменений профиля или каких-либо последствий контактной усталости качения. Планируется расширить масштабы внедрения скоростного шлифования рельсов и связанной с ней программы обследования рель-

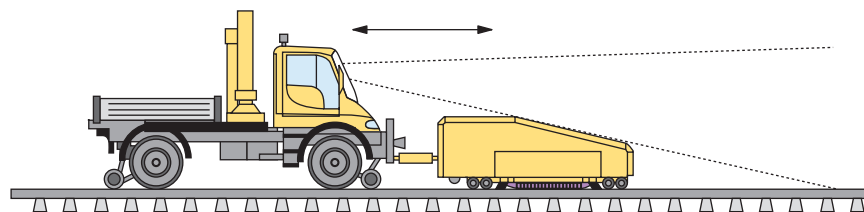


Рис. 3. Схема рельсошлифовальной машины HSG City (источник: Stahlberg Roensch)

сов с целью дальнейшего анализа эффективности данной технологии.

В связи с тем что скорость процесса HSG достигает 80 км/ч, осуществление одновременного обследования обработанных рельсов не представляется возможным по той простой причине, что ручная тележка с аппаратурой неразрушающего контроля перемещается по рельсовой колее со значительно меньшей скоростью. Поэтому для проведения очередных циклов скоростного шлифования SRL и DB согласовали технологию с уже опробованными и оправдавшими себя режимами обработки, гарантирующими достижение желаемых результатов без дополнительной проверки.

В то же время в целях контроля соблюдения согласованных режимов на шлифовальной машине RC-01 установили оборудование для автоматической регистрации рабочей скорости и усилий, возникающих между шлифовальными блоками и рельсами при шлифовании. По завершении обработки полученные данные сопоставляются с заданными. В случае отсутствия значимых отклонений результаты шлифования признаются удовлетворительными. Это не исключает проведения систематических выборочных проверок состояния рабочих поверхностей рельсов для подтверждения соответствия фактических результатов предполагаемым.

Технология HSG периодически применяется также на некоторых других линиях сети DB — высокоскоростных пассажирских, линиях со смешанными перевозками и исключительно грузовых. В этих случаях периодичность шлифования

составляет два-три раза в год. В перспективе планируется дальнейшее расширение полигона скоростного шлифования.

Периодичность и интенсивность скоростного шлифования будет определяться индивидуально для каждой конкретной линии, однако уже сейчас ясно, что своевременное удаление с поверхности рельсов тонкого слоя металла является эффективным и экономически оправданным методом поддержания рельсов в удовлетворительном рабочем состоянии.

Между тем компания Stahlberg Roensch разработала также машину типа HSG City для скоростного шлифования рельсов по рассмотренной выше технологии на линиях трамвая, метрополитена или на подъездных путях разного рода предприятий (рис. 3). В машине, выполненной на базе тележки, перемещаемой подвижной единицей на комбинированном автомобильно-рельсовом ходу (например, типа Unimog), применены по 12 шлифовальных камней для каждой рельсовой нити, что позволяет снимать за один проход слой металла толщиной до 7 мкм. Ее основными преимуществами являются малые габариты, высокая (до 50 км/ч) скорость (это позволяет выполнять шлифование рельсов без помех обычному движению) и гибкость в эксплуатации (например, возможность обработки желобчатых трамвайных рельсов).

M. Taubert, A. Püschel. International Railway Journal, 2009, № 7, p. 31–33; материалы компании Vossloh Rail Services (www.vossloh-rail-services.com).