

Рис. 5. Алгоритм определения числа проходов и тактики профилактического шлифования для устранения дефектов

Поскольку профиль головки изношенного рельса на разных участках пути (в кривой, прямой) различен, последовательность шлифования определяют индивидуально (см. табл. 2). Для восстановления теоретического/исходного профиля головки рельса шлифовальные камни устанавливаются под углом от 0 до 6 град.

Система поддержки

В настоящее время JR East использует компьютеризованную систему TRAMS21 (Track Maintenance

Определение числа проходов в зависимости от числа рабочих камней шлифовальной машины

Число шлифовальных камней	Число проходов
16.....	6
24.....	4
32.....	4
48.....	2 – 4

System 21), которая поддерживает режим планирования, определяя число проходов и схемы шлифования по рассмотренным алгоритмам. На дисплей выводится информация о пропущенном тоннаже, измеренном уровне шума, вызванном взаимодействием колеса и рельса, по классификации участков, состоянию рельсов (поперечному профилю, волнообразному износу, износу головки рельса), о предыдущем шлифовании с помощью машин Speno и т. д. На другом дисплее можно видеть необходимое число проходов и схемы шлифования.

Применение данного метода и эффективное использование рельсошлифовальных машин обеспечивают поддержание пути в надлежащем состоянии. JR East намерена и далее совершенствовать практику и методы шлифования рельсов, продолжая исследования в этой области.

Anami T. Rail Engineering International. 2004, № 2, p. 10 – 12.

Улучшение характеристик и повышение надежности рельсов

В последнее время верхнее строение пути железных дорог Европы во все возрастающей степени страдает от повреждаемости рельсов вследствие усталостных явлений в контакте качения (RCF). Трещины в головке рельса как один из типов контактно-усталостных повреждений возникают из-за проскальзывания колеса относительно рельса при высоких нагрузках. Эти трещины, зарождающиеся на поверхности, образуются преимущественно в рельсах, уложенных в кривых и стрелочных переводах, где смещение гребня колеса к рабочей выкружке наружного рельса приводит к повышенному проскальзыванию и ухудшению условий контакта колеса и рельса.

Контактно-усталостные повреждения указанного типа могут в конечном счете приводить к полному разрушению рельса и сходу подвижного состава. По-

мимо этого, одной из главных проблем отрицательного воздействия на окружающую среду, к чему так чувствительно общественное мнение в Европе, является высокий (до 100 – 110 дБ) уровень излучаемого шума вследствие прерывистого проскальзывания колеса по рельсу. Устранение скрежета при движении поездов в кривых представляет серьезную проблему, особенно для городских железных дорог, проходящих через районы плотной жилой застройки.

Поэтому разрабатываются новые материалы и технологии, которые в перспективе окажут благотворное влияние на эксплуатационные характеристики, надежность и срок службы рельсов.

Проект № 5 Европейского союза по инфраструктуре железных дорог, реализация которого начата в апреле 2000 г., имеет целью повышение надежности и долговечности рельсов (с одновременным снижением уровня шума) на участках пути с кривыми малого и среднего радиуса, большими размерами дви-

жения и высокими осевыми нагрузками. Это достигается нанесением на поверхность головки рельса специального покрытия, за счет чего создается так называемый комбинированный рельс, получивший наименование *InfraStar*, для которого характерны меньшая склонность к контактно-усталостным повреждениям при качении и пониженный уровень шума в крутых кривых.

По мере роста потребности в перевозках ищутся новые методы повышения мощности системы. Важно как количественное, так и качественное совершенствование системы колесо — рельс. Главными факторами, ограничивающими производительность железнодорожной линии, являются межремонтные интервалы и срок службы элементов верхнего строения пути, который уменьшается при повышении осевых нагрузок, скорости и интенсивности движения; к тому же на загруженных линиях организация работ по текущему содержанию и ремонту пути затруднена ввиду сложности предоставления окон.

Контактная усталость при качении сегодня является одним из главных ограничений несущей способности железнодорожной инфраструктуры. Выбоины, отслаивания и трещины в головке рельса — все это типичные формы проявления контактно-усталостных повреждений, но именно в кривых и на стрелочных переводах они могут иметь наиболее тяжелые последствия.

Комбинированные рельсы

В проекте *InfraStar* рассмотрены две технологии получения комбинированных (со слоем покрытия) рельсов: нанесение покрытия в процессе прокатки новых рельсов и лазерное плакирование, которое можно выполнять как в пути, так и при изготовлении новых рельсов. В настоящее время до стадии испытаний доведена только последняя из них, разработанная компанией *Dugos* (Швеция).

Испытания на сопротивляемость контактной усталости

Два подготовленных компанией *Dugos* образца комбинированных рельсов (рис. 1) с покрытиями из материалов типов *Dugos 222* и *Dugos 508*, нанесенных лазерным плакированием (рис. 2), были испытаны в лабораторных условиях на сопротивляемость контактной усталости при качении, связность лазерного покрытия и основного металла и коэффициент сцепления. После успешно проведенных лабораторных испытаний начата реализация программы испытаний в пути.

Выбранные материалы покрытия имеют более высокую твердость, больший предел текучести и меньший коэффициент трения, чем рельсовая сталь (суб-

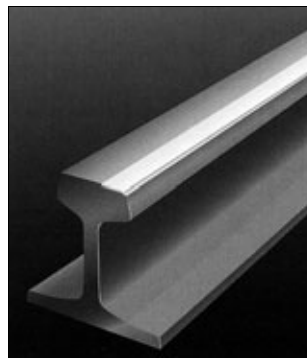


Рис. 1. Общий вид комбинированного рельса с лазерным покрытием

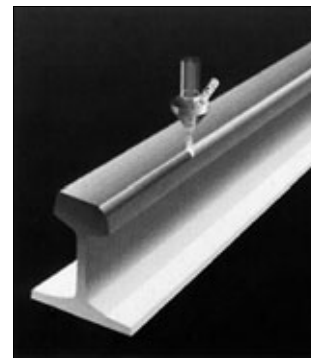


Рис. 2. Процесс лазерного плакирования рельса

страт). Они снижают или предотвращают пластическую деформацию и тем самым сглаживают проявления в головке рельса контактной усталости при качении. Эффективность применения этих материалов зависит от толщины покрытия и сочетания свойств покрытия и основного металла.

В ходе лабораторных испытаний характеристики покрытий из материалов *Dugos 222* и *Dugos 508* определяли с помощью двухдисковой машины в условиях сухого трения и при увлажнении водой. Испытания показали, что оба материала обладают существенно улучшенной сопротивляемостью контактной усталости при качении по сравнению со сталью *UIC 900A* класса 260. Материал *Dugos 222* признан более перспективным, поскольку ни в одном из проведенных с ним циклов испытаний появления трещин не зафиксировано. Связность соединения обоих материалов также оказалась отличной.

Полевые испытания комбинированных рельсов с лазерным покрытием на сопротивляемость контактной усталости при качении были проведены на рудозвозной линии *Malmbanan* в Швеции.

Параметры опытного участка линии *Malmbanan* следующие: рельсы типа *МСЖД 60* из стали 900А, радиус кривой 595 м, возвышение наружного рельса отсутствует, лубрикация рельсов не применяется, максимальная осевая нагрузка 30 т, скорость движения поездов 40 км/ч, пропускаемая поездная нагрузка 12 млн. т брутто в год.

В обычной эксплуатации рельсы на участке меняют каждые 5 лет из-за возникновения трещин в головке. Для отслеживания и выявления начальных проявлений пластической деформации или возникающих на поверхности рельсов дефектов контактно-усталостного характера каждые 4 – 6 недель выполняют визуальные осмотры, определяют твердость металла головки рельса и измеряют ее профиль, а также регулярно проводят дефектоскопию рельсов.

На первом этапе испытаний в путь на 2 мес были уложены два вновь изготовленных отрезка комбинированных рельсов длиной 6 м с покрытиями двух ти-

пов, подвергнутые затем металлографическому исследованию. Комбинированные рельсы обоих типов показали повышенную сопротивляемость контактной усталости при качении по сравнению со смежными рельсами. Оба продемонстрировали также высокую степень связности покрытия.

Сразу же после первого этапа испытаний в путь были уложены три отрезка обычных для этой линии рельсов МСЖД 60 из стали 900А, плакированные лазером. На два отрезка длиной по 20 м были нанесены широким слоем (24 мм) покрытия: на первый — из материала Duroc 222, на второй — из материала Duroc 508. На третий отрезок такой же длины было нанесено покрытие более узким (17 мм) слоем: на половине длины из материала Duroc 222, на другой половине — из материала Duroc 508.

Обследование пути после пропуска 7 млн. т брутто поездной нагрузки (через 7 мес после укладки) показало, что критическим параметром является ширина покрытия. Узкое покрытие имеет склонность к сползанию на рабочую грань рельса, что приводит к развитию продольных трещин на площадке раздела между рельсовой сталью и отслаивающимся от него покрытием. В случае более широкого покрытия пластическое расслоение и сползание не отмечены.

Изменения профиля головки рельса оценивали на основе их чертежей. Измерения показали, что покрытие из материала Duroc 508 хорошо сопротивляется износу и пластической деформации кромок; покрытие из материала Duroc 222 также стойкое, но в меньшей степени, чем из материала Duroc 508. С другой стороны, рельсы из стали 900А продемонстрировали явную тенденцию к отгибанию кромок и износу.

Поверхностная твердость головки рельса из стали 900А за время испытаний повысилась с 295 до 360 HV. Для отрезка рельса с покрытием из материала Duroc 222 этот показатель возрос с 390 примерно до 540 HV, а из материала Duroc 508 — с 530 примерно до 670 HV. Это доказывает, что оба материала покрытия подверглись деформационному упрочнению в более высокой степени, чем сталь 900А. Материал Duroc 508, однако, более хрупкий и имеет большую тенденцию к излому, чем Duroc 222 или необработанная рельсовая сталь.

В покровном слое материала Duroc 222 трещины обнаружены не были. Однако в аналогичном слое материала Duroc 508 выявлены трещины, начинающиеся от верха головки рельса в месте сопряжения покрытия с субстратом. Это, по-видимому, обусловлено неправильно выбранным процессом отпуска.

После 18 мес службы опытный отрезок комбинированного рельса с лазерным покрытием из материала Duroc 508 был снят с пути. Отрезок же с широким слоем покрытия из материала Duroc 222 на момент подготовки настоящей статьи все еще лежал в пути,

и трещин вследствие контактной усталости при качении в нем не было. В мае 2002 г. в путь уложили новые опытные отрезки комбинированных рельсов с покрытием из материала Duroc 222, изготовленные по усовершенствованной технологии компании Duroc. На момент подготовки статьи по ним было пропущено более 12 млн. т брутто поездной нагрузки, и они продемонстрировали отличные эксплуатационные характеристики.

Испытания на уменьшение скрежета

Для исследования влияния лазерного плакирования рельсов на уровень скрежета, излучаемого при движении подвижного состава в кривых, испытания проводились на метрополитене Парижа.

Хотя испытываемые комбинированные рельсы были отобраны исходя из их сопротивляемости контактной усталости при качении, была надежда, что наличие покрытия должно также оказать благоприятное влияние на характеристики рельсов с точки зрения излучения шума. В ходе предварительных лабораторных испытаний образцы с лазерным покрытием продемонстрировали низкий коэффициент сухого трения и лучший характер взаимодействия с рельсовой сталью по сравнению с сочетанием обычная сталь — сталь.

Перед укладкой опытных рельсов в путь были проведены эталонные измерения по программе InfraStar, после эксплуатации в течение 3 мес определялась эффективность их применения.

Опытный участок расположен между станциями Порт-Доре и Порт-Мишель-Бизо линии 8 парижского метрополитена. Для этого участка характерна проблема скрежета при движении поездов. Здесь находится кривая длиной 200 и радиусом 75 м, возвышение наружного рельса равно 160 мм, подуклонка 1:20. В путь уложены рельсы типа V52 на деревянных шпалах. Поезда, имеющие осевую нагрузку 6,3 т (при пустых вагонах), тормозят со скорости 40 км/ч. Смазка гребней колес осуществляется смонтированными на поездах лубрикаторами, подающими масляно-графитовую смесь.

Эталонные измерения как на внутреннем, так и на наружном рельсах проводились 13 мая 2002 г. Измеренный исходный уровень шума (скрежета) достигал 117 дБ(А).

После этого в путь на участке уложили три отрезка комбинированных рельсов с покрытием из материала Duroc 222, три с покрытием из материала Duroc 508 и три отрезка обычных необработанных рельсов из стали класса 260. Все отрезки имели длину 18 м.

Измерения для определения эффективности применения новых рельсов проводили 31 октября 2002 г. Как и в ходе эталонных измерений, обнаружилось,

что все вагоны издавали скрежещущий звук при проходе каждого исследуемого отрезка. Спектральные характеристики скрежета были аналогичны зафиксированным при эталонных измерениях с двумя максимумами на частотах 450 и 1200 Гц.

На основе результатов измерений можно сделать вывод, что нанесение лазерного покрытия на рельсы не предотвращает возникновение скрежета и не снижает его уровень.

Скрежещущий звук часто описывают как систему двухпозиционного регулирования. Это значит, что целью должно быть не снижение уровня скрежещущего звука, но уменьшение вероятности его возникновения. В исследуемой системе поезд — путь наглядно проявилась высокая неустойчивость скрежета. Испытывавшиеся комбинированные рельсы не смогли обеспечить достижение поставленных целей.

Непосредственно перед измерениями уровня скрежета, т. е. через 3 мес после укладки отрезков опытных рельсов с покрытием в путь, была обследована их поверхность катания, а также измерена твердость с использованием прибора Equo-Tip.

На рельсах с покрытием из материала Duroc 222 не отмечено никаких трещин. Поверхность оказалась в высокой степени отполированной, визуально выявлены небольшие поры технологического характера. Как на наружном, так и на внутреннем рельсе с покрытием из материала Duroc 508 отмечены явные признаки трещин, ориентированных в поперечном направлении и расположенных на расстоянии 20 мм одна от другой. На рельсах из стали 900А без покрытия никаких трещин обнаружено не было, но на внутреннем рельсе начали развиваться первые признаки волнообразного износа.

Более поздние обследования пути в апреле 2003 г. показали, что покрытие из материала Duroc 222 очень хорошо работает в отношении сопротивляемости износу и контактной усталости при качении. Однако скрежещущий звук возникает все еще часто. Было решено оставить опытные отрезки комбинированных рельсов с покрытием из материала Duroc 222 в пути в целях дальнейшего их изучения, а отрезки с покрытием из материала Duroc 508 с пути снять.

Технология и материалы

Технология лазерного плакирования компании Duroc представляет собой процесс нанесения на обрабатываемую поверхность покрытия из легирующих материалов в порошкообразной форме, в том числе керамических добавок и их сочетаний, с помощью которого можно улучшить характеристики обработанных поверхностей и изделий. Материалы покрытия в данном случае выбирали с целью обеспечения желаемых трибологических характеристик поверхности рельсов, где эти свойства необходимы.

Поскольку технология Duroc для лазерного плакирования стальных изделий разработана более 10 лет назад, до недавнего времени рельсовую сталь таким способом не обрабатывали. Чтобы сделать это возможным, да еще и с хорошими результатами, выполнены специальные разработки. Они начались на ранней стадии проекта InfraStar и вначале привели к получению двухдисковых образцов с лазерным покрытием для лабораторных испытаний.

В ходе полевых испытаний установлено, что ширину и толщину слоя лазерного покрытия следует в дальнейшем оптимизировать с целью минимизации износа и пластических деформаций. Также установлено, что комбинированные рельсы с покрытием перед укладкой в путь должны быть обработаны по профилю (шлифованием или фрезерованием). Иначе излишняя шероховатость поверхности повлечет за собой повышенные напряжения в покрытии и основном металле. Должны быть также исключены разрывы в покрытии, т. е. рельс должен быть плакирован на всей длине.

Дальнейшие разработки и испытания с термитной сваркой показали, что рельсы с лазерным покрытием можно сваривать между собой.

При разработке технологического процесса обнаружилось, что лазерное плакирование рельсов на прямых участках пути экономически нецелесообразно. Поэтому компания Duroc разработала новую технологию нанесения покрытия с использованием иных источников питания. Это обеспечило более высокую эффективность процесса, однако основные принципы и результаты не изменились.

Теперь есть уверенность, что можно получать комбинированные рельсы с лазерным покрытием по цене намного меньшей, чем установленная Vanverket, администрацией инфраструктуры железных дорог Швеции, в качестве пороговой и примерно в 4 — 5 раз превышающая цену поверхностно-обработанных рельсов. Однако необходимы более точное представление и наработка опыта в отношении срока службы рельсов с покрытием по сравнению с обычными.

Ясно также, что необходимо дальнейшее совершенствование технологии для оптимизации покрытий применительно к конкретным условиям. Например, для решения проблемы износа могут понадобиться покрытия из материалов других типов, чем для решения проблемы контактной усталости при качении.

В отношении стоимости поверхностной обработки рельсов еще остается много неопределенностей. Например, трудно установить, какую именно стоимость сочтет приемлемой владелец инфраструктуры. Поверхностная обработка обходится дорого, но затраты на нее могут быть компенсированы снижением износа рельсов и их повреждаемости по причи-

нам контактно-усталостного характера. В настоящее время на железных дорогах Европы во избежание преждевременных контактно-усталостных повреждений заменяют около 20 тыс. рельсов (600 км) в год. В 30 % случаев причиной замены рельсов являются трещины в головке. По данным Европейского исследовательского института железнодорожного транспорта (ERRI), суммарные потери, связанные с проблемой контактной усталости при качении, достигают 300 млн. евро в год.

Полагают, что рельсы, прошедшие поверхностную обработку, будут гораздо надежнее в эксплуатации по сравнению с обычными. Точное увеличение срока службы поверхностно-обработанных рельсов еще неизвестно, но согласно прогнозам их долговечность примерно в 2 раза больше, чем необработанных. С позиции владельца инфраструктуры, поверхностно-обработанные рельсы обеспечивают больший срок службы, исключают необходимость в перепрофилировании шлифованием и снижают потери из-за нарушения графика движения поездов в связи с выделением окон для текущего содержания и замены рельсов.

Проект InfraStar сосредоточен на создании комбинированных рельсов с покрытиями, повышающими сопротивляемость проявлениям контактной усталости при качении. Достижимость этой цели доказана разработкой и испытаниями новой технологии и

материалов на основе тщательного изучения взаимодействия колеса и рельса. Полученные знания теперь можно использовать в целях оптимизации таких рельсов для эксплуатации в разных условиях.

Благодаря этому появилась, в частности, возможность разработки рельсов, как доступных с экономической точки зрения, так и удовлетворяющих специфическим функциональным требованиям. Можно, например, варьировать состав материала покрытия и применять наиболее эффективные (и, вероятно, более дорогие) смеси только там, где это действительно необходимо.

Известно, что критическими местами железнодорожных линий являются стрелочные переводы и глухие пересечения, где неблагоприятные последствия контактной усталости при качении и износа, в том числе волнообразного, проявляются особо остро. Еще один отрицательный фактор в этих местах — высокий уровень скрежещущего звука. В настоящее время с привлечением новых партнеров готовятся предложения по расширению проекта InfraStar для решения проблем, связанных с устранением или ослаблением влияния указанных факторов применительно к движению поездов по переводам и пересечениям.

M. Heinsch. International Railway Journal, 2004, № 2, p. 13 – 15.

Шпалы из альтернативных материалов в условиях высокой осевой нагрузки

Железные дороги при эксплуатации шпал и креплений сталкиваются со следующими проблемами: снижение устойчивости ширины колеи, поперечной и вертикальной стабильности пути, продольной сопротивляемости рельсов уgonу; перекося шпал; наддергивание пружинных костылей и путевых шурупов; возникновение трещин в подкладках и крепежных деталях рельсовых креплений, трещин и расщеплений в шпалах; врезание подкладок в шпалы; влияние влажности.

В 2001 г. железные дороги первого класса США и Канады потратили 911 млн. дол. США на приобретение новых шпал и 26,5 млн. на ремонт лежащих в пути.

В 2003 г. программы развития путевого хозяйства семи крупных железных дорог и четырех региональ-

ных систем Северной Америки предусматривали укладку примерно 15,3 млн. шпал, в том числе около 93 % новых пиленых из древесины твердых пород, до 1,5 % старогонных, 5 % железобетонных, менее 0,1 % металлических и 0,4 % композитных (пластиковых), остальное приходилось на шпалы из других альтернативных материалов.

Несмотря на то что доля заказов на шпалы из альтернативных материалов все еще сравнительно невелика, промышленность продолжает развивать и совершенствовать их конструкции. Принадлежащий Федеральной железнодорожной администрации США (FRA) Центр транспортных технологий (ТТС) в Пуэбло проводит исследования эксплуатационных характеристик шпал разных типов на полигоне ускоренных испытаний (FAST). Большинство результатов, анализируемых в данной статье, получено в ходе