

Неразрушающий контроль рельсов: состояние и перспективы

Рельсы в эксплуатации подвергаются высоким нагрузкам со стороны подвижного состава. Для обеспечения безопасности движения необходимо с помощью соответствующих методов контроля своевременно обнаруживать и оценивать возникающие дефекты. Для этой цели используется ультразвуковая и вихретоковая дефектоскопия. В статье представлены современные методы ее применения, позволяющие регистрировать и оценивать дефекты как на поверхности, так и внутри рельса.

Нагрузки на рельсы со стороны подвижного состава в основном обусловлены контактом качения колеса по рельсу. Этот контакт может приводить к появлению близких к поверхности дефектов на внутренней грани головки рельса в виде сетки трещин, которые при дальнейшем росте могут заметно повысить опасность разрушения рельса. Необходимо обнаруживать эти дефекты как можно раньше и оценивать их глубину, чтобы затем устранять их, например, шлифованием, строганием или фрезерованием. Для оценки дефектов разработана технология испытаний, позволяющая оценить трещины глубиной до 10 мм. Главная цель при ее разработке заключалась в оснащении рельсоиспытательных поездов аппаратурой для контроля рельсов при скорости до 100 км/ч. Такая аппаратура может также быть установлена на рельсошлифовальных поездах, чтобы, с одной стороны, перед обработкой получать информацию о состоянии рельсов, с другой стороны — контролировать качество обработки. Параллельно была разработана система ручной дефектоскопии рельса. Соответствующую технику планировали внедрить на сети железных дорог Германии (DBAG).

Другая методика контроля — дефектоскопия рельса групповым излучателем. Она базируется на ультразвуковом принципе и позволяет обнаруживать и оценивать внутренние дефекты в рельсе, ориентированные наиболее неблагоприятным образом с точки зрения их обнаружения. В лабораторных условиях проведены испытания этого метода ультразвуковой дефектоскопии, подтвердившие его эффективность и пригодность для широкого применения в полевых условиях.

Обнаружение близких к поверхности дефектов с помощью вихревых токов

Свойства близких к поверхности дефектов

Дефекты рельсов этого вида в последние годы приобретают все большее значение в связи с появлением новых рельсовых сталей, которые характеризуются улучшенными механическими характеристиками, включая и износостойкость. В связи с этим для устранения сетки трещин уже недостаточно съема металла, происходящего при естественном износе рельса во время движения поездов.

Ближкие к поверхности внутренней грани головки рельса дефекты представляют собой сетку трещин, которые входят в рельс на определенную глубину под острым углом к направлению движения. Они чаще встречаются в наружном рельсе кривых. Угол их входа в рельс колеблется в диапазоне 15–30°. Последующий рост трещин может привести к их слиянию и выкрашиванию материала. При продолжающемся росте возможно образование поперечных трещин, которые могут стать причиной излома рельса.

Оснащение рельсоиспытательных поездов вихретоковой техникой

При дефектоскопии рельсов в движении со скоростью до 100 км/ч к названным поездам предъявляются максимально высокие требования. Решающую роль при этом играет точное позиционирование зонда на рельсе. В новых поездах применяется специальное устройство, позволяющее вести четыре зонда в специальном держателе по каждому рельсу в области внутренней грани головки. Зонды контролируют здесь полосу шириной около 24 мм. Они установлены с зазором 0,5 мм, который поддерживается постоянным благодаря роликовым направляющим, прижатым к поверхности рельса. Кроме того, держатели обеспечивают надежное и беспрепятственное скольжение в области стрелочных переводов.

Испытательная аппаратура размещается внутри поезда. Она включает в себя два четырехканальных индукционных прибора, два связанных с ними компьютера, а также еще один компьютер для обработки данных или их предварительной оценки. Вся система смонтирована на столе обычных размеров. С помощью системы глобального позиционирования получаемые результаты могут быть привязаны к местным координатам.

Рабочее место оператора имеет несколько мониторов. Один из них, расположенный по центру, служит для наблюдения за вихретоковой аппаратурой. На нем отображаются все ее важнейшие параметры. Контроль получаемых результатов измерений ведется на мониторе отдельного рабочего места. Результаты оценки данных выводятся на второй монитор. Здесь полученная измерительная информация оценивается по целенаправленно выбираемым критериям, важнейшим из которых является глубина трещин, которая может определяться для каждой из них. На базе результатов измерений рассчитывают среднее значение дефекта внутренней грани головки рельса. В ряде случаев определяют также число трещин и их длину. Имея эти данные, можно сделать заключения о необходимости ремонта рельсов шлифованием, строганием или фрезерованием. В настоящее время совершенствуется программное обеспечение, позволяющее использовать эти критерии оценки.

Ручной вихретоковый контроль рельсов

Параллельно с рассмотренной техникой разработали ручную вихретоковую систему (на дрезине) для контроля коротких участков рельсов. На ней применяется такой же зонд, как и в измерительной системе поезда.

Дополнительно используется зонд, позволяющий с высоким местным разрешением подсчитывать число трещин. С помощью установленного на дрезине специального держателя можно контролировать 14 дорожек на поверхности катания рельса. Зонд удерживается над рельсом с постоянным воздушным зазором с помощью такого же направляющего устройства, как и на рельсоизмерительном поезде.

Система позволяет в ходе контроля сразу определять глубину

обнаруженных трещин. Для этого служит выведенная на монитор операционная панель. В верхней ее части отображается глубина дефектов на проверяемом участке. Кроме того, система выдает и другие важные параметры, в числе которых следующие:

- величины импедансов обоих вихретоковых зондов, которые служат для проверки калибровки аппаратуры;
- координаты системы глобального позиционирования;
- параметры участков, где проводятся измерения;
- мгновенные значения скорости движения.

Результаты измерений помещают в запоминающее устройство для последующей обработки, оценки и статистического анализа.

Результаты измерений

Проводившееся ранее изучение вихретокового метода, сопровождавшееся металлографическими исследованиями, показало, что разработанная технология в состоянии довольно точно определять глубину трещин, если известен угол входа их в головку рельса. Кроме того, становятся видимыми другие поверхностные дефекты или неоднородности рельса, такие, как риски, образовавшиеся при шлифовании, сетки микротрещин, места сварки и наплавки рельсов. Сигналы от этих дефектов не всегда оцениваются из-за отсутствия необходимых калибровочных кри-вых, однако качественную оценку проводят без особых сложностей. В дальнейшем уточнение местных координат обнаруженных дефектов станет возможным благодаря использованию информации о местах расположения сварных швов, полученной с помощью ультразвуковой техники рельсоиспытательного поезда. Таким образом, вихретоковая технология дефектоскопии обладает большим потенциалом и имеет широкие перспективы.

Определение объемных дефектов с помощью техники групповых излучателей

Требования к дефектоскопии рельсов в будущем

Благодаря применению современных материалов и повышению скорости движения подвижного состава расширились требования к рельсам и соответственно увеличился каталог дефектов. Наряду с обнаружением дефектов большое внимание должно уделяться их анализу и классификации.

Традиционная ультразвуковая технология испытаний, которая (наряду с вихретоковой) используется на существующих рельсоиспытательных поездах, построена на ультразвуковых зондах с постоянным углом подачи испытательного и оценкой отраженного сигнала с помощью диафрагменных устройств. Использование нерегулируемого угла подачи сигнала ограничивает возможности обнаружения и анализа дефектов, расположенных под острыми углами к заданному направлению.

Для того чтобы выполнить требование о проведении анализа обнаруженных дефектов, необходимо согласовывать характеристики зондов с параметрами среды распространения сигнала. Кроме того, при регистрации результатов измерений должна проводиться съемка ультразвукового поля, что делает возможной оценку отраженных сигналов в виде цветных кодов, необходимую для отчетной документации.

Техника групповых излучателей

Техника управляемых по времени групповых излучателей делает возможным плавное изменение электронными средствами параметров ультразвукового поля зондов. Это позволяет исследовать рельс с использованием множества углов подачи сигналов и лишь нескольких зондов. В лаборатории

ультразвуковых методов Федерального агентства по исследованиям и испытаниям материалов (ВАМ) эта техника совершенствуется и успешно применяется в течение многих лет. Благодаря прогрессу в электронике и ее миниатюризации возможно приемлемое по стоимости и несложное по реализации применение ее и на сети DBAG.

Возможности применения техники групповых излучателей

Метод групповых излучателей используют прежде всего для аналитических исследований в противоположность методам, ставшим классическими и применяющимся для поиска дефектов на эксплуатирующихся линиях.

Техника групповых излучателей для дефектоскопии рельсов предусматривает установку двух угловых головок на каждом рельсе, излучающих сигнал встречно, но под углом к поверхности. Диапазон углов поворота головок составляет 40° (от 35° до 75°) (рис. 1). При испытаниях с большими углами фокус находится на трещинах в головке рельса и в зоне перехода к шейке, при малых углах — в нижней части шейки и подошве рельса. Трещины в отверстиях под стыковую накладку и трещины, идущие от поверхности катания к подошве, надежно обнаруживаются при угле подачи сигнала, равном 45° . При соответствующем расположении головок возможно обнаружение дефектов в стыковых сварных швах. Благодаря продуманному геометрическому размещению головок на рельсе в сочетании с вихретоковым методом можно обнаруживать и оценивать дефекты рельса во всем испытательном диапазоне.

С помощью приведенной системы к настоящему времени выполнены ручные обследования зон станций и участков, где дефекты были обнаружены ранее рельсоиспытательным поездом со скоростью 30 км/ч. Оборудование новой системы было установлено на

тележке с комбинированной ходовой частью, что позволяло использовать ее с минимальными помехами движению поездов.

Рельсоиспытательный элемент для фундаментальных исследований

Для первых аналитических исследований потребовался соответствующий испытательный элемент. Так как к тому времени отсутствовал стандарт на его изготовление и расположение в нем опытных рефлекторов (отражающих участков), отдельные владельцы инфраструктуры разрабатывали собственные испытательные элементы с рефлекторами, обнаруживаемыми применяемой техникой. По этой причине лабораторией ВАМ были проанализированы все виды обнаруживавшихся на практике и классифицированных DBAG дефектов рельсов. Они были разделены на небольшие группы. Входящие в них дефекты обнаруживались системой с формированием такого отраженного сигнала, который имел место при обнаружении соответствующего этой группе опытного рефлектора. Таким образом, данный рефлектор являлся моделью дефекта, входящего в рассматриваемую группу.

Из образовавшегося набора рефлекторов можно было смоделировать любой дефект рельса. Рефлекторы были расположены в комплекте из шести эталонных отрезков рельса типа UIC60 высотой 172 мм и длиной по 1000 мм. Этот комплект должен был послужить базой для введения стандарта на

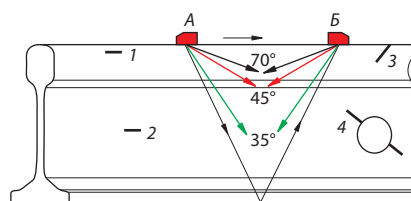


Рис. 1. Расположение испытательных головок при дефектоскопии рельса в лаборатории:

А, Б — испытательные головки; 1, 2, 3 — рефлекторы в виде пазов; 4 — рефлекторы в виде пропилов

изготовление испытательных элементов и унификации соответствующих процедур (рис. 2). В будущем применение этих элементов позволит гарантировать лучшую сопоставимость различных методов испытаний.

В качестве опытных рефлекторов предусматривались углубления (глухие отверстия) с плоским дном и пропилы. Углубления имеют диаметр 3 мм и углы наклона 0° , 30° , 45° и 60° или диаметр 4 мм и угол наклона 90° . Пропилы имеют форму серповидных надрезов или пазов с различными углами наклона и глубиной 2 или 4 мм, сделанных в отверстиях под болты стыковой накладки, головке и подошве рельса.

Результаты первых измерений на рельсоиспытательном элементе

Углубления диаметром 3 мм с плоским дном и углом наклона 45° в опытном рельсе обнаруживались головками групповых излучателей с колебательными контурами различных типоразмеров и частотой 1,5–4 МГц. Результаты измерений сравнивали с результатами измерений обычными угловыми головками (угол наклона 35° и 45° , колебательный контур 20×22 мм, частота 2 МГц, тип WB, компания Krautkrämer/Agfa NDT). Сравнение показало, что при большой длине пути сигнала для четкого обнаружения рефлектора требуется большой колебательный контур (около 20×22 мм) и низкая частота — около 2 МГц, так как в противном случае невозможна надежная отстройка полезного сигнала от шума. Этот интервал отстройки для глухих отверстий глубиной 81 мм и традиционной головки с углом наклона 35° составляет примерно 19 дБ, а с углом наклона 45° — 23 дБ. Однако эта головка в рельсовой дефектоскопии не применяется. С головками групповых излучателей при частоте 3 или 1,5 МГц достигается интервал 19 или 20 дБ. На глубине 157 мм при прочих равных условиях для традиционных головок

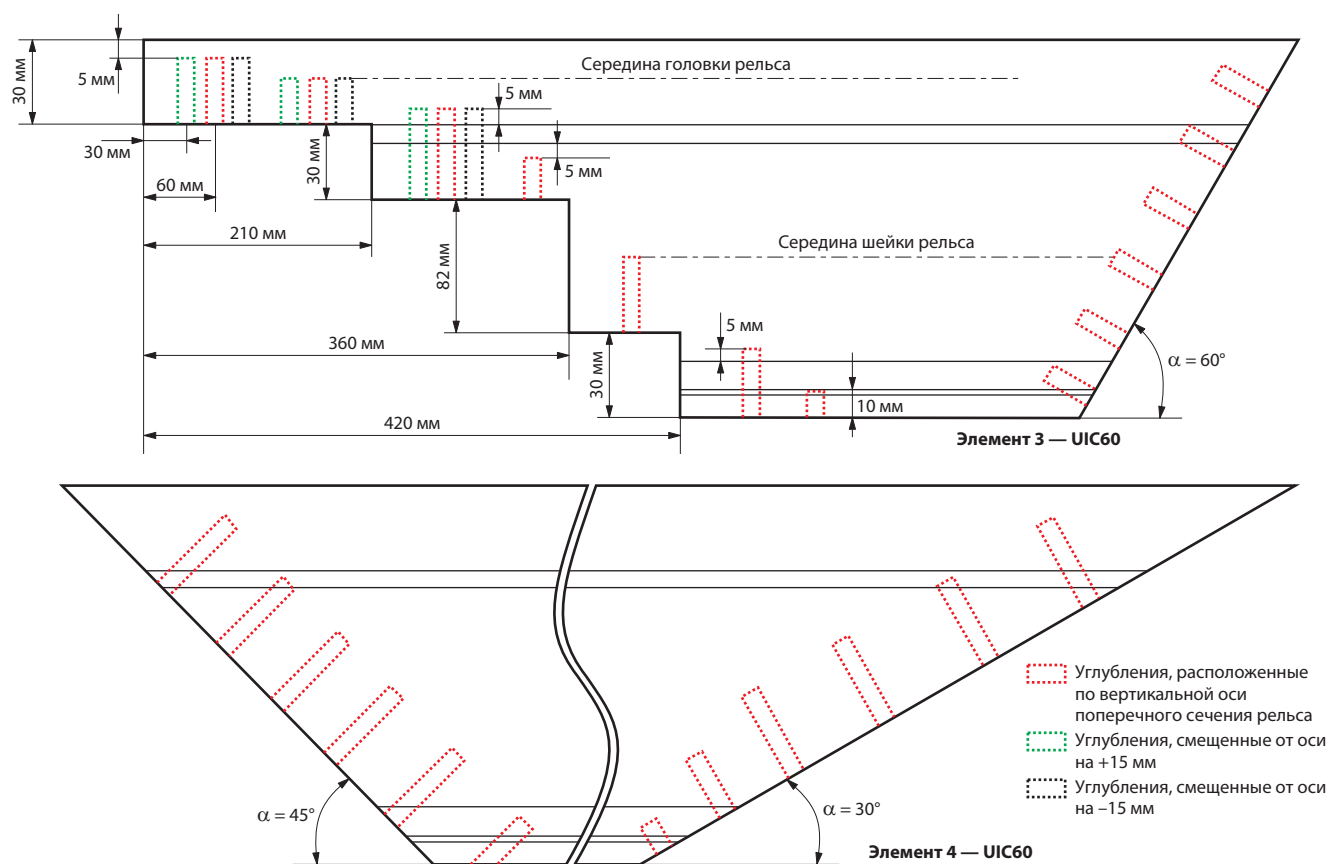


Рис. 2. Рельсовые испытательные элементы

с углами 5° и 45° получается интервал 7 или 8 дБ, для головок с групповыми излучателями с частотой 3 МГц интервал составляет 4 дБ, а с частотой 1,5 МГц — 15 дБ. Меньший интервал для головок с групповыми излучателями и частотой 3 МГц объясняется главным образом большим ослаблением сигнала. Результаты измерений головкой с групповыми излучателями на частоте 1,5 МГц показывают, что с помощью оптимизированной для дефектоскопии рельсов головки даже для отверстий большой глубины могут быть получены хорошие интервалы полезный сигнал — шум.

Выводы

Вследствие воздействия на путь современных поездных нагрузок, особенно на высокоскоростных линиях, на поверхности рельсов или внутри возникают новые ви-

ды дефектов, которые не обнаруживаются обычными дефектоскопами вообще или обнаруживаются с большим трудом. В связи с этим разработана испытательная техника, имеющая целью своевременное обнаружение и устранение подобных дефектов, а в конечном итоге — обеспечение безопасного движения.

В будущем эта техника будет совершенствоваться, так как ее потенциал еще далеко не исчерпан. Вихретоковая дефектоскопия при этом сыграет решающую роль, поскольку она позволяет с высокой чувствительностью исследовать поверхность рельса и является хорошим дополнением к ультразвуковой дефектоскопии, достоинства которой заключаются в обнаружении дефектов внутри рельса.

Применение головок с групповыми излучателями открывает новые возможности в дефектоскопии рельсов, особенно в отноше-

нии уменьшения числа измерительных головок в дефектоскопе, повышения степени локализации дефектов и обеспечения возможности их анализа. Кроме того, разработанная система может быть адаптирована к условиям железнодорожных сетей других стран и компаний, в том числе и с другой геометрией рельсов. Вполне выполнима задача изменения объема и перечня задач дефектоскопии с помощью программного обеспечения, т. е. без механических изменений измерительных головок и их держателей. Система, смонтированная на транспортном средстве с комбинированной ходовой частью, позволяет обследовать со скоростью до 30 км/ч участки, которые сейчас контролируют ручную или рельсоиспытательными поездами.

R. Krull et al. *Glaser's Annalen*, 2003, № 6/7, S. 286–296.