

# ПРОБЛЕМЫ КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ СТЫКОВ РЕЛЬСОВ

А.А. МАРКОВ, Е.А. КУЗНЕЦОВА

## Предлагаемая оценка эффективности системы неразрушающего контроля рельсов

Действующей системой дефектоскопии рельсов на сети ОАО «РЖД» ежегодно обнаруживается от 30 до 57 тыс. опасных для движения поездов дефектов, так называемых остродефектных рельсов (ОДР). К сожалению, иногда происходят изломы рельсов (в редких случаях под поездами). При этом их количество по сравнению с количеством обнаруженных дефектов в сотни и тысячи раз меньше.

Эффективность использования средств дефектоскопии за отчетный период в линейных подразделениях определяют по выражению\*:

$$\Theta = (100 - n/N),$$

где  $n$  — число изломов из-за пропуска дефекта по вине операторов за отчетный период (год);  $N$  — количество ОДР, выявленных всеми средствами.

Причем  $n$  — это изломы по дефектам, которые можно выявлять с помощью существующих средств и технологий. На практике к этим отказам добавляются и изломы рельсов без видимых причин, а также по дефектам, которые невозможно обнаружить имеющимися средствами (например, в перьях подшвы).

В целом по сети дорог ОАО «РЖД» показатель  $\Theta$  за последнее десятилетие всегда составлял более 99 %, что свидетельствует о весьма высокой эффективности отечественной системы дефектоскопии рельсов. Однако данный показатель не учитывает суммарное количество изломов по всем дефектам и не позволяет объективно определить эффективность применяемых методик и средств дефектоскопии по отношению к конкретным типам дефектов.

С целью определения направлений дальнейшего совершенствования действующей системы диагности-

ки рельсов предлагается ввести более информативный показатель, характеризующий потенциальную опасность определенных типов дефектов:

$$\chi_k = p_k / (N_k + p_k),$$

где  $p_k = n_k + f_k$  — общее количество изломов по дефекту типа « $k$ », а  $n_k$  — это количество изломов по данному типу дефекта из-за пропуска операторами (при контроле рельсов в пути и при расшифровке дефектограмм), и  $f_k$  — количество изломов по дефектам, на момент контроля не доступных для действующей системы дефектоскопии рельсов;  $N_k$  — количество дефектов типа « $k$ ».

Другими словами, параметр  $\chi_k$  отражает потенциальный внезапный излом рельсов по дефектам конкретного типа (в данном случае « $k$ ») из-за пропуска операторами или невозможности их обнаружения с помощью эксплуатируемых средств неразрушающего контроля. Чем больше показатель  $\chi_k$ , тем опаснее дефект с точки зрения наступления отказа рельса (излома), и тем большие усилия должны быть направлены для его снижения посредством либо совершенствования конструкции пути, либо разработок новых методов и средств обнаружения дефектов данного типа.

По указанному выражению можно рассчитать интегральный (суммарный) показатель  $\chi_\Sigma$  потенциальной опасности по всем типам дефектов рельсов как отношение общего количества изломов, допущенных за определенный период (за год), к сумме обнаруженных ОДР всех типов дефектов и изломов:

$$\chi_\Sigma = p_\Sigma / (N_\Sigma + p_\Sigma).$$

Например, для 2010 г. расчетный показатель составил  $\chi_\Sigma = 1,46 \cdot 10^{-3}$  (обнаружено ОДР дефектов всех типов  $N_\Sigma = 38422$  шт., произошло  $p_\Sigma = 56$  изломов).

На рис. 1 представлен график изменения суммарного показателя  $\chi_\Sigma$  за последние 13 лет. На графике видно, что, начиная с 2001 г., в системе дефектоскопии рельсов произошли существенные изменения, позволившие значительно (до 7 раз!) снизить суммарную «вероятность» необнаружения опасных дефектов в рельсах.

Анализ по 22 типам опасных дефектов в рельсах и произошедшим изломам, по которым на ОАО «РЖД» ведется многолетняя статистика, показывает, что большинство типов ОДР достаточно надежно и своевременно обнаруживаются действующими на сети дорог средствами неразрушающего контроля. Для них показатель  $\chi_k$  в последние годы не превышает  $2 \cdot 10^{-3}$ .

На рис. 2 приведены значения показателя  $\chi_k$  для основных типов дефектов, по которым в 2010 г. произошли изломы.

Для дефекта 21 (поперечные трещины в головке рельса) в 2010 г. значение показателя составило  $\chi_{21} = p_{21} / (N_{21} + p_{21}) = 0,89 \cdot 10^{-3}$  (обнаружено дефектов

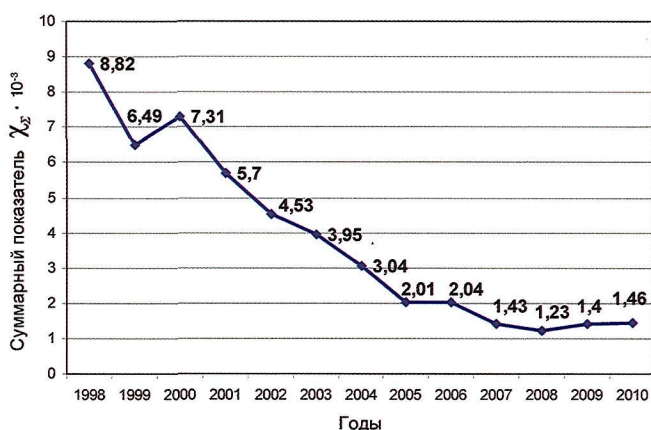


Рис. 1. Изменение по годам суммарного показателя  $\chi_\Sigma$  по всем типам дефектов

\* Лысюк В.С., Бугаенко В.М. Повреждения рельсов и их диагностика. М.: ИКЦ «Академкнига», 2006. 638 с.



данного типа  $N_{21} = 12323$  шт., произошло  $p_{21} = 11$  изломов). Видно, что данные дефекты не являются «проблемными» для действующей системы дефектоскопии (показатель  $\chi_{21}$  даже ниже, чем суммарный показатель  $\chi_{\Sigma}$ ).

Для дефектов в подошве рельсов 60, 65, 69 показатель  $\chi$  в 2010 г. составил от  $15 \cdot 10^{-3}$  до  $50 \cdot 10^{-3}$ . Указанные дефекты в случае внезапного излома рельсов по причине их необнаружения в 15–50 раз опаснее, чем наиболее распространенные и многочисленные поперечные трещины головки (дефект 21) и трещины болтовых отверстий (дефект 53). Причем такая тенденция характерна не только для рассматриваемого 2010 г., но и сохраняется последнее десятилетие.

Приведенные примеры показывают, что предложенный показатель  $\chi$  действительно может служить наглядным критерием, демонстрирующим уровень эффективности действующих технологий и средств неразрушающего контроля при выявлении конкретных типов дефектов в рельсах.

Анализ поведения  $\chi_k$  по годам позволяет проследить динамику влияния определенного типа дефекта на безотказную эксплуатацию рельсового пути. Сравнивая его с суммарным (интегральным) показателем по всем типам дефектов  $\chi_{\Sigma}$ , определяют степень влияния дефектов типа «к» на общий показатель надежности рельсов относительно появления внезапных изломов. На своевременное обнаружение дефектов, у которых  $\chi_k$  значительно превышает  $\chi_{\Sigma}$ , должны быть сконцентрированы усилия разработчиков технологий и средств неразрушающего контроля рельсов.

### Особенности контроля стыков рельсов, сваренных электроконтактным способом

Как видно на рис. 2, после трещин в подошве рельсов в зоне основного металла (дефекты 60, 65 и 69) наиболее проблемными являются дефекты шейки и подошвы (56.3 и 66.3) в зоне сварных стыков рельсов.

За последние девять лет протяженность бесстыкового пути увеличилась на 30 тыс. км, и к 2010 г. она составила более 74 тыс. км (60 % развернутой длины главных путей). В связи со значительным ростом числа сварных стыков рельсов и не уменьшающимся количеством изломов в данной зоне (около 30 % всех изломов) рассмотрим эту актуальную проблему более подробно.

Как известно, сварные стыки подвергают неразрушающему контролю по специальной технологии при изготовлении рельсовых плетей на рельсосварочном предприятии (РСП)\*\* или в пути после сварки рельсов с помощью путевых рельсосварочных машин (ПРСМ). Сварные стыки должны вручную контролироваться в пути ультразвуковым методом с помощью переносного дефектоскопа первые два года после начала эксплуатации через год, а затем через каждые два года. Дополнительно при сплошном контроле рельсового пути съемными дефектоскопами и мобильными средствами практически все сечение сварного стыка (кроме первой подошвы) также подвергается периодическому

\*\* Технологическая инструкция по ультразвуковому контролю сварных стыков рельсов в рельсосварочных предприятиях. ТИ 07.42-2004.

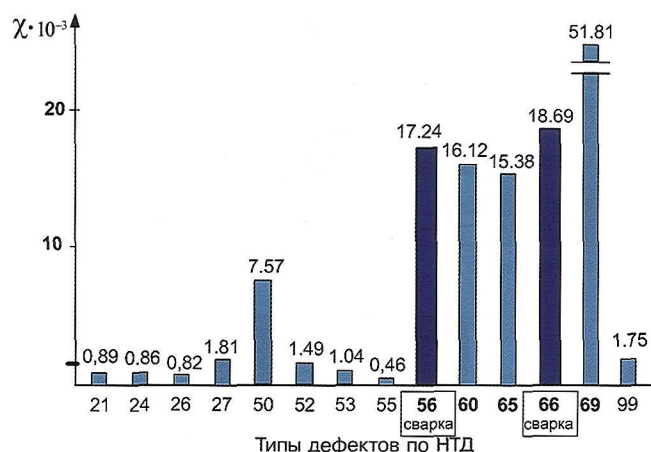


Рис. 2. Распределение показателя  $\chi_k$  по типам дефектов в 2010 г.

(1–4 раза в месяц) неразрушающему контролю.

Как показывает статистика, за последние пять лет при увеличении протяженности бесстыкового пути на 17 тыс. км ситуация с дефектами в сварных стыках остается достаточно стабильной. Весьма интересным является распределение выявляемости дефектов сварки по сечению рельса (рис. 3, таблица).

Несмотря на то, что поперечных трещин в головке рельса в зоне сварки (дефект 26.3) на сети дорог обнаруживается достаточно много (около 3 тыс. шт. ежегодно или 6 % всех обнаруженных ОДР), количество изломов рельсов по данному дефекту минимально (1–3 шт. в год). Причина — введение новых схем прозвучивания головки («РОМБ» и «Зеркальная» разработки ОАО «Радиоавионика», схема «70°») и ее надежный контроль (в том числе и в зоне сварного стыка) практически всеми средствами сплошного контроля.

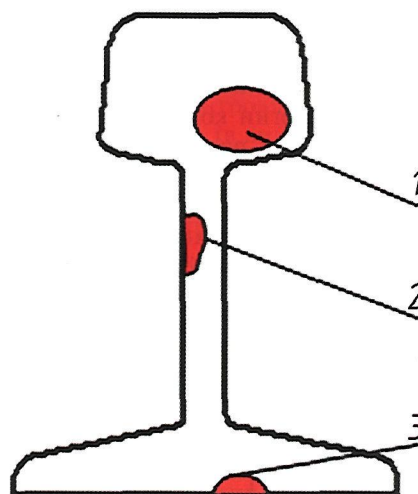


Рис. 3. Распределение дефектов по сечению рельса (позиции см. в таблице)

### Показатели выявляемости дефектов сварных стыков за 2006–2010 гг.

№ позиции на рис. 3	Дефект	Количество ОДР данного типа, шт/год	% всех ОДР	Изломы по данному типу, шт/год	% всех изломов	$\chi \cdot 10^{-3}$
1	26.3	2434–3028	5,5–6,4	1–3	1–3,5	0,4–1
2	56.3	338–456	0,7–1,2	5–10	6–14	13–28
3	66.3	306–464	0,7–0,8	5–11	7–13	15–23



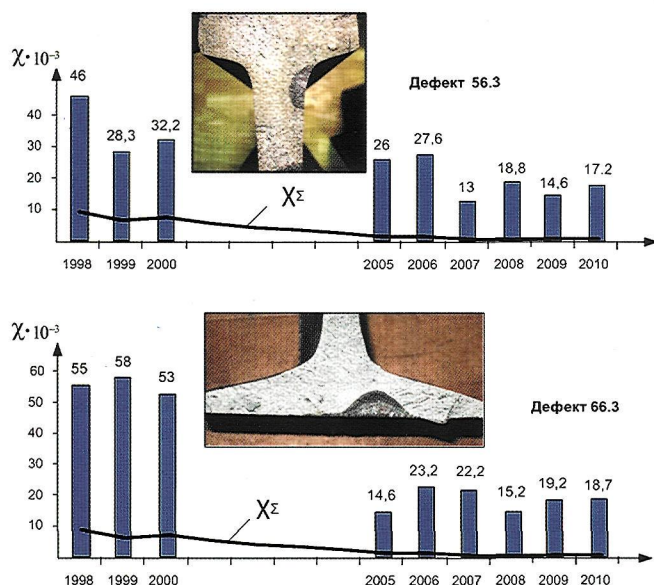


Рис. 4. Распределение показателя  $\chi$  для дефектов шейки и подошвы в зоне сварки по сравнению с суммарным показателем  $\chi_{\Sigma}$  (см. рис. 1) для всех типов ОДР

В то же время количество обнаруживаемых дефектов в шейке и подошве рельсов в 7 раз меньше, чем дефектов в головке (см. рис. 3 и таблицу). Однако число изломов по причине этих дефектов почти в 5 раз больше, чем из-за дефектов в головке.

Недопустимо большой процент изломов рельсов из-за дефектов 56.3 и 66.3 характеризует значение нового показателя  $\chi$  (см. рис. 3 и 4). Как видно, вероятность  $\chi$  внезапных изломов рельсов из-за дефектов шейки и подошвы в сварных стыках в среднем в 30 раз выше, чем этот же показатель для дефектов в головке 26.3, и в 12 раз больше суммарного показателя  $\chi_{\Sigma}$  по всем типам дефектов. Причем за последние годы показатели  $\chi_{56}$  и  $\chi_{66}$  менялись незначительно, а, значит, и ситуация по изломам из-за указанных дефектов не улучшается.

Из приведенных данных можно сделать вывод, что действующие технологии контроля сварных стыков в пути уже много лет (см. рис. 4) не обеспечивают своевременного выявления опасных дефектов в шейке и подошве в зоне сварки.

Следует признать, что технология ручного контроля сварки за многие десятилетия не претерпела серьезных изменений. И сегодня, в XXI в. (!), сохраняется необходимость ручного сканирования с шагом 3 мм по всему периметру стыка на рельсосварочном пред-

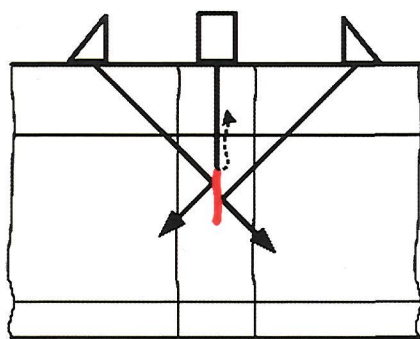


Рис. 5. Неуверенное обнаружение вертикальных трещин в зоне сварного стыка съемными средствами

приятии (в пути, естественно, без сканирования подошвы снизу). При этом преобразователем с углом ввода  $\alpha = 50^\circ$ , настроенным на одну условную чувствительность  $K_y = 24$  дБ, сканируют и шейку (с ее боковой поверхности) толщиной 18 мм и всю высоту рельса с поверхности катания (180 мм). Естественно, данные требования были сформулированы исходя из упрощения процедуры ручного сканирования, и для своего времени эта технология была прогрессивной.

В настоящее время с учетом внедрения компьютерного контроля режимов сварки, индукционного упрочнения поверхности и других новых технологий изготовления длиномерной плиты целесообразно более дифференцированно подходить к контролю разных сечений рельса, в том числе и сварных стыков.

Практика ручного контроля сварки в пути показывает, что по разным причинам (ограниченное время контроля, загрязненная поверхность шейки и подошвы рельса, большая трудоемкость) операторы зачастую игнорируют требования сканирования околошовной зоны сварки по боковым поверхностям шейки и перьям подошвы. В результате шов контролируется только с поверхности катания и в лучшем случае — с боковых поверхностей головки.

Поскольку рельсовые плиты периодически контролируются средствами сплошного контроля (съёмными и мобильными), сварные стыки также автоматически подвергаются контролю. Так что головка рельса (и в зоне сварки) благодаря разнообразию схем прозвучивания проверяется данными средствами достаточно эффективно, о чем свидетельствует малое количество изломов по дефектам 26.3.

Схемы прозвучивания шейки и подошвы у съёмных и мобильных средств состоят, как правило, из двух наклонных (с углами ввода  $\alpha = 42$  или  $45^\circ$ ) и одного прямого ( $\alpha = 0^\circ$ ) преобразователей и ориентированы в основном на обнаружение трещин различной ориентации в зоне основного металла и болтовых стыков.

Анализ произошедших в последние годы изломов по сварке показывает, что дефекты в шейке 56.3 чаще всего представляли собой поперечные (реже — горизонтальные и наклонные) трещины, зарождающиеся с боковой поверхности шейки и развивающиеся вглубь нее. Данные дефекты, хотя и имели значительные размеры, но не выявлялись с поверхности катания рельса и не были зафиксированы средствами сплошного контроля. Очевидно, это объясняется зеркальным отражением наклонно падающих ультразвуковых колебаний от плоскости вертикальных трещин (рис. 5).

При контроле прямым преобразователем вследствие значительного затухания продольных ультразвуковых колебаний в зоне сварки условная чувствительность, установленная для контроля основного металла, могла оказаться недостаточной для фиксации эхо-сигналов от вершин вертикальных или плоскости горизонтальных трещин шейки.

Большинство дефектов 66.3 располагаются в перьях подошвы и не доступны для выявления при вводе ультразвуковых колебаний с поверхности ка-



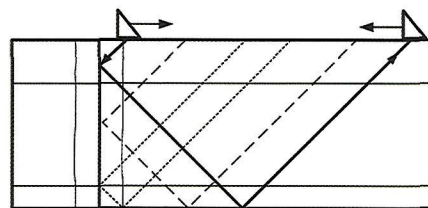
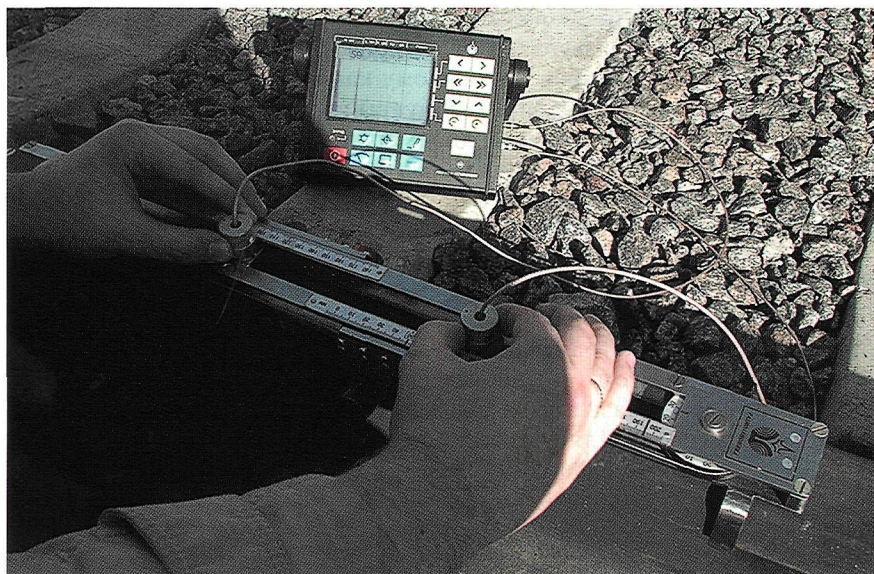


Рис. 6. Реализация зеркального метода («Тандем») с помощью сканера САТС дефектоскопа «Авикон-02Р»

тания. В целом трудность обнаружения дефектов в зоне сварного стыка заключается в том, что они могут развиваться в любом месте сечения рельса и имеют отражающие свойства хуже, чем у эксплуатационных дефектов в зоне основного металла.

Таким образом, чувствительности каналов прозвучивания шейки и подошвы в средствах сплошного контроля не обеспечивают надежное обнаружение специфических дефектов сварки. Для поиска вертикально ориентированных (плоскостных — в плоскости сварного стыка) дефектов не хватает дополнительных каналов. Это подтверждается статистическими данными: ежегодно 20—25 % изломов рельсового пути происходят именно из-за несвоевременно выявленных дефектов 56.3 и 66.3.

### Предлагаемые варианты обнаружения дефектов сварки

Естественно, проблемы более качественного контроля сварных стыков рельсов не оставались без внимания разработчиков дефектоскопической техники. За последние годы только специалисты ОАО «Радиоавионика» при поддержке Департамента пути и сооружений ОАО «РЖД» предложили несколько мер, направленных на частичное решение задачи имеющимися средствами контроля рельсов и более полное решение — создание специализированного многоканального дефектоскопа с регистрацией результатов проверки.

1. В качестве оперативных мер по повышению качества ручного контроля сварки ОАО «Радиоавионика» предложил использовать технологию, изложенную во «Временных инструктивных указаниях по ультразвуковому контролю сварных стыков рельсов, выполненных ПРСМ в пути, дефектоскопом «Авикон-02Р» с получением документа контроля» (утверждены Департаментом пути и сооружений ОАО «РЖД» 12.12.05).

В соответствии с этим документом после основной проверки сварного стыка по действующей технологии предлагается запротоколировать факт контроля стыка. Для этого необходимо дополнительно просканировать зону сварки следующим образом. Настроить преобразователь с углом ввода  $\alpha = 50^\circ$  на повышенную чувствительность  $K_y = 36$  дБ (на 12 дБ больше

номинальной чувствительности), установить его на поверхность катания строго над шейкой (без разворота) на расстоянии 250 мм от середины стыка и переместить на расстояние не менее 25 мм за стык. При этом следует записать сигналы контроля стыка по всей высоте рельса на В-развертке.

При необходимости эту же процедуру можно повторить и для перьев подошвы. Указанная технология подробно рассмотрена в нашем журнале\*\*\*.

Отображение сигналов на В-развертке при повышенной чувствительности позволит зафиксировать более четкую пачку сигналов даже от дефектов крайне малых размеров или с плохими отражающими свойствами. Кроме того, при такой чувствительности проявляется структура (структурные шумы) сварного стыка.

В целом при минимальных временных затратах (не более 1 мин на стык) процедура дополнительного сканирования позволит:

- надежнее обнаруживать дефекты сварки;
- получить документ контроля сварного стыка с его структурным «портретом» (в виде В-развертки);
- повысить технологическую дисциплину операторов.

2. При ручном контроле сварных стыков целесообразно использовать схему «Тандем» с помощью сканера, входящего в комплект дефектоскопа «Авикон-02Р». При этом поперечные трещины в головке, шейке и подошве рельсов могут быть выявлены зеркальным методом (рис. 6). Данная операция незначительно увеличит время проверки по сравнению с действующей технологией.

3. Возможно пришло время рассмотреть вопрос об отказе от сканирования головки при ручном контроле сварки, поскольку, как отмечено выше, эта зона эффективно контролируется при сплошном контроле рельсов. Целесообразнее сконцентрировать внимание на проблемных зонах сварки — тщательно сканировать шейку и подошву. За счет этого можно существенно сократить время контроля од-

\*\*\* Марков А.А., Козьяков А.Б., Косенко А.В. Документирование контроля сварных стыков // Путь и путевое хозяйство. 2006. № 10. С. 8—9.



ного стыка и повысить существующие нормы (40 стыков в смену).

4. Для оперативной проверки сварных стыков при сплошном контроле рельсов с помощью съемных тележек ОАО «Радиоавионика» ввело в дефектоскопы «Авикон-01» и «Авикон-11» специальный режим контроля — «Сварка». В соответствии с «Временными инструктивными указаниями по ультразвуковому контролю сварных стыков в пути дефектоскопом «Авикон-01МР»» (утверждены Департаментом пути и сооружений ОАО «РЖД» 12.12.05), подходя к сварному стыку, оператор нажимает кнопку на пульте, при этом чувствительности ряда каналов повышаются на заданное значение. По дефектограмме можно выделить пачки сигналов на фоне возможных структурных шумов сварного шва.

К сожалению, все рассмотренные выше варианты решения являются полумерами, и проблему контроля сварных стыков решают только частично. По-прежнему сохраняется специфика ручного контроля, его низкая производительность. Достоверность проверок напрямую зависит от квалификации, психофизиологического состояния и добросовестности оператора. Невозможно установить нарушения технологии контроля.

5. В связи с этим для надежного обнаружения разнообразных дефектов по всему сечению сварных стыков необходимо разработать специализированный дефектоскоп, учитывающий специфику дефектов и условия контроля в этой зоне. Создаваемый дефектоскоп также должен существенно повысить производительность контроля сварки и обеспечить получение соответствующего документа.

В последние годы ряд фирм-разработчиков средств дефектоскопии России и других стран заняты этим направлением.

Первая попытка автоматизации контроля сварных стыков была реализована в дефектоскопе МИГ-УКС. В отличие от принятого контроля сварки перемещением одного (или пары) преобразователей (ПЭП) по поверхности рельса в околошовной зоне при разработке МИГ-УКС применено прозвучивание сечения сварного шва с помощью множества (70-и) неподвижных преобразователей, прижимаемых к поверхности рельса на расчетных расстояниях от искомого сечения. Для гарантированного выявления различно ориентированных дефектов предусмотрено использовать эхо-, зеркальный и дельта методы ультразвукового контроля, а также сочетание этих методов.

Известно, что некоторые дефекты обнаруживаются весьма уверенно при прозвучивании их под заданным углом с одной стороны и практически не формируют эхо-сигналы при прозвучивании с другой. В связи с этим контроль сечения сварного стыка производится с двух сторон, причем без разворота блоков преобразователей и самой дефектоскопной тележки.

По результатам проверки сварного стыка МИГ-УКС формируется протокол с мнемоническим изобра-

жением рельса и индикацией дефектного сечения, А-разверткой сработавших каналов и параметрами контроля по каждому каналу\*\*\*\*.

Опытная эксплуатация этих приборов на ряде дорог подтвердила правильность технических решений, заложенных в дефектоскоп. Однако было установлено, что обнаружение некоторых типов дефектов при неподвижном положении преобразователей происходит неуверенно, поскольку отражающие точки отдельных дефектов прозвучиваются не центральным лучом, а только боковыми лучами диаграммы направленности преобразователя. При этом амплитуда эхо- или зеркальных сигналов оказывается ниже порогового уровня.

Для устранения этого недостатка в следующей модификации МИГ-УКС предусматривается сканировать зоны сварного стыка в двух направлениях всей группой преобразователей. При этом сигналы регистрируются на В-развертке, и шумовые сигналы, присущие зоне сварки, могут быть отфильтрованы при визуальном анализе. Будут приняты меры и по более корректной привязке документа контроля к конкретному сварному стыку. В дополнение к вводимому вручную номеру сварного стыка предусмотрена фиксация GPS-координаты и фоторегистрация поверхности шва. Последнее позволяет не только однозначно идентифицировать сварной стык, но и документировать поверхностные нарушения зоны сварки.

Однако даже внедрение автоматизированных средств все проблемы контроля сварки полностью не решит. На участках с большим износом головки рельса и с очень высокой интенсивностью движения, по-видимому, будут, как и раньше, применяться средства ручного контроля. Поэтому здесь необходимо максимально упростить процесс сканирования и ввести обязательное формирование протокола контроля (см. пп. 1 и 2).

Одновременно с созданием новой техники необходима разработка единых требований к типоразмерам дефектов, подлежащих обнаружению. Отсутствие подобных документов затрудняет разработку приборов автоматизированного контроля сварки. В то же время в ряде стран (США, Великобритания) такие требования сформированы и являются ориентиром для разработчиков.

Целесообразно также оснастить линейные подразделения рельсами с минимально выявляемыми дефектами сварки для настройки специализированных дефектоскопов (аналогично настройке съемных тележек на контрольных тупиках).

Внедрение автоматизированных средств приведет и к необходимости пересмотра нормативов контроля сварных стыков в большую сторону.

В заключение отметим: проблема контроля сварных стыков по-прежнему остается весьма сложной, а задача автоматизации контроля, к сожалению, на настоящее время нигде в мире полностью не решена.

Усилия отраслевых институтов и разработчиков средств неразрушающего контроля рельсов должны быть направлены на создание более современных и эффективных технологий обнаружения дефектов в шейке и подошве в зоне сварных стыков рельсов.

\*\*\*\* Приезжев С.С., Марков А.А., Козьяков А.Б. Контроль сварных стыков на Куйбышевской дороге // Путь и путевое хозяйство. 2007. № 5. С. 2—4.