



Ультразвуковой контроль узлов железнодорожного транспорта дефектоскопами с фазированными решетками

В статье рассматривается возможность применения ультразвуковых дефектоскопов с фазированными решетками для контроля узлов железнодорожного транспорта – элементов колесных пар, литых деталей тележек [боковых рам] грузовых вагонов. Рассмотрены существующие схемы контроля для дефектоскопов с преобразователями с одним углом ввода, их практическая реализация при работе с ФР. Разработана методика настройки, предложены настроочные образцы.

N. V. Meleshko¹, T. I. Makarova², S. E. Zharinov³

Ultrasonic Testing of Railway Transport Units with Phased Array Flaw Detectors

The article describes possibilities of phased array flaw detectors application for testing of railway transport units, such as wheel set axles, all-rolled wheels, solebars of freight cars. The task was to reproduce the standard testing procedures using phased array flaw detectors and demonstrate their advantages in visibility, efficiency, repeatability, results validity.

Sector scanning technique with the phased array flaw detectors OmniScan and Isonic 2010 in the minimum configuration was used for the research. In the all cases acoustical images of the following reflectors within the range of selected angles were obtained: saw-cuts in axles, spot-drillings and saw-cuts in wheels, side drilled holes and natural defects in solebars.

The Multi Group software [Isonic 2000] at testing of wheel set axles has enabled the testing schemes to be realized with one prism and one phased array instead of several classical piezoelectric transducers.

Circumferential testing of all-rolled wheels from internal lateral surface under the roll surface level has allowed transverse cracks and flange embedded defects to be detected. Solebar testing has been more complicated because of a form and irregularity of scanning surface, necessity of its cleaning and a complex profile of back surface. Nevertheless the usage of phased array flaw detectors has made it possible to identify the back surface profile.

Application of phased arrays substantially increases testing efficiency and improves visibility of obtained results.

Keywords: ultrasonic flaw detector, phased array, nondestructive testing, railway transport units, axle, wheel, solebar

Введение

Ультразвуковые дефектоскопы с фазированными решетками (ФР) широко используются в практике ультразвукового контроля (УЗК) во многих отраслях промышленности. Это требует адаптации методик контроля, разработанных для УЗК со стандартными пьезоэлектрическими преобразователями (ПЭП) с фиксированным углом ввода, и проведения исследований по выявлению преимуществ технологии ФР, т.к. применение дефектоскопов ФР не всегда оправданно.

На ж.-д. транспорте согласно руководящим документам УЗК подлежат оси

и колеса. Применяются ПЭП различных типов. Ставилась задача воспроизвести используемые при контроле стандартными ПЭП схемы дефектоскопами с ФР и показать преимущества в наглядности, производительности, воспроизводимости, достоверности результатов. Необходимо было также понять, возможен ли контроль дефектоскопами с ФР минимальной конфигурации, по стоимости сопоставимой со стоимостью дефектоскопа с комплектом стандартных ПЭП, реализующего все схемы.

Основным преимуществом технологии ФР является возможность электронного управления параметрами

Submitted 29.07.15
Accepted 06.08.15

МЕЛЕШКО
Наталия Владимировна

Доктор кафедры Электротехники и Интроскопии
ФГБОУ ВПО «НИУ «МЭИ»,
Москва, к. т. н., III уровень
по акустическому виду НК.



МАКАРОВА
Таисия Игоревна

Преподаватель
ООО «Микроакустика-М».



ЖАРИНОВ
Сергей Евгеньевич

Технический директор
Промышленного холдинга ТКС, Аргус Пайплайн
Сервис, III уровень по акустическому виду НК.



ультразвукового луча — углом ввода, фокусным расстоянием, размером фокусного пятна в процессе контроля. Это позволяет обнаруживать дефекты, различно ориентированные относительно акустической оси [1].

При настройке дефектоскопа с ФР калибруется большое количество его параметров [2]. В дополнение к настройке скорости, времени задержки и ВРЧ необходимо при использовании секторного сканирования задать глубину фокусировки, провести выравнивание чувствительности для разных углов. Времена задержек и законы ВРЧ определяются для каждого закона.

¹ National Research University "MPEI", Moscow, Russia; meleshkonatalia@gmail.com

² Mikroakustika-M, Moscow, Russia; taya1004@yandex.ru

³ ТКС Industrial Holding, Argus Pipeline Service, Moscow, Russia; serzhandt@mail.ru

К сожалению, при переходе к контролю изделий значительного размера теряется одно из основных преимуществ дефектоскопов с ФР — возможность управлять глубиной фокусировки. Размер ближней зоны наиболее распространенной 16-элементной 5 МГц ФР с призмой оказывается меньше, чем требуемая глубина фокусировки [3].

Для контроля использовались известные дефектоскопы OmniScan (Olympus) и Isonic 2010 (Sonotron) в наиболее распространенных конфигурациях с 16-ю и 32-мя элементными решетками, рабочей частотой 5 МГц и призмой с углом 36°.

Контроль осей колесных пар

С 1 января 2015 г. введены новые нормативные документы по НК грузовых вагонов при ремонте (согласно стандарту СТО 1.11.002–2008). В ПР НК В.2 «Правила неразрушающего контроля деталей и составных частей колесных пар вагонов при ремонте. Специальные требования» приведены схемы сканирования осей при УЗК с предподступичной части оси, введены новые образцы для настройки основных параметров [4]. Особое внимание в ПР НК В.2 удалено настройке по образцам ОСО 32.008–09 и ОСО 32.006–2002 (рис. 1, 2) и реализации методов BR — контроля с предподступичной части шейки между кольцами подшипника. При контроле шейки

применяются схемы BR1 и BR2, под ступицей — BR3 и BR4.

Для реализации схемы BR1 используются два наклонных совмещенных ПЭП частотой 5 МГц с углом ввода 65°, включенных по раздельной схеме. На настроеких образцах (НО) (рис. 3) должен выявляться пропил в сечении Е—Е на расстоянии 160 мм от торца в оси РУ-1Ш. Для реализации схемы BR2 используется один ПЭП частотой 2,5 МГц с углом ввода 43°. Должен выявляться в НО пропил в сечении Ж—Ж на расстоянии 80 мм от торца в оси РУ-1Ш.

Для реализации схемы BR3 используются ПЭП частотой 2,5 МГц с углом ввода 19°. Должен выявляться в НО пропил в сечении Д—Д на расстоянии 285 мм от торца в оси РУ-1Ш. Для реализации схемы BR4 используется ПЭП частотой 2,5 МГц с углом ввода 55°. Должен выявляться в НО пропил в сечении Г—Г на расстоянии 490 мм от торца в оси РУ-1Ш. Глубина пропилов составляет 2 мм.

Для реализации схем сканирования использовалось секторное сканирование, позволяющее получить акустическое изображение в диапазоне выбранных углов. В процедуру настройки дефектоскопа с ФР в отличие от стандартных ПЭП добавляются операции по корректировке чувствительности по углам. Операции по настройке скорости, калибровке задержки в призме,

настройке ВРЧ и чувствительности необходиомо выполнить для всего сектора, заменяющего несколько ПЭП.

Настройка скорости и калибровка задержки в призме осуществлялась по СО-3. Корректировка чувствительности по углам производилась по боковому цилиндрическому отверстию (БЦО) Ø6 мм на глубине 15 мм в СО-2. Настройка ВРЧ была проведена по образцу № 2 ОСО 32.006–2002 под углом 50°, полученный закон применили ко всем углам в секторе. Чувствительность была установлена по образцу ОСО 32.006–2002.

Контроль осуществлялся поперечными волнами в секторе от 30 до 70° (рис. 4).

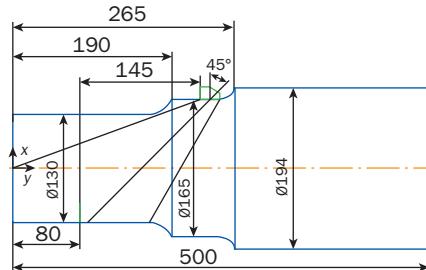


Рис. 4. Сектор при контроле поперечными волнами с предподступичной части

Например, при работе с OmniScan пропил Ж—Ж, находящийся на глубине 150 мм, обнаружен под углом 45° на глубине 146 мм от поверхности предподступичной части, на которую установлена ФР (рис. 5). Контроль проводился при чувствительности, полученной от БЦО в ОСО 32.006–02 (15 дБ). К сожалению, для получения сигналов от пропилов, выполненных в разных осях, чувствительность приходилось корректировать.

При использовании дефектоскопа OmniScan пропилы Ж—Ж (рис. 6), Е—Е (рис. 7), Д—Д и Г—Г были также обнаружены поверхностными волнами, образованными трансформацией на галтели поперечной волны, что подтверждалось демпфированием (пальпированием) самого пропила, угла и галтели.

Использование программы Multi Group в дефектоскопе Isonic 2010 позволило одновременно реализовать схемы BR1 (выявление пропила ЕЕ), BR3 (выявление пропила ДД) и BR4 (выявление пропила ГГ). На рис. 8 представлены акустические изображения пропилов ЕЕ, ДД и ГГ. Несмотря на использование только одной решетки и одной призмы, удалось реализовать схемы, требующие нескольких классических ПЭП.

Контроль цельнокатаных колес

Контроль производился со стороны внешней боковой поверхности колеса.

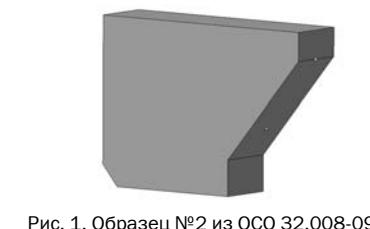


Рис. 1. Образец №2 из ОСО 32.008-09

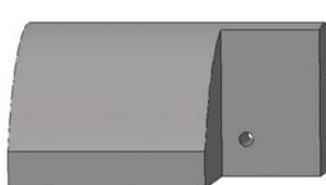


Рис. 2. Образец ОСО 32.006-2002

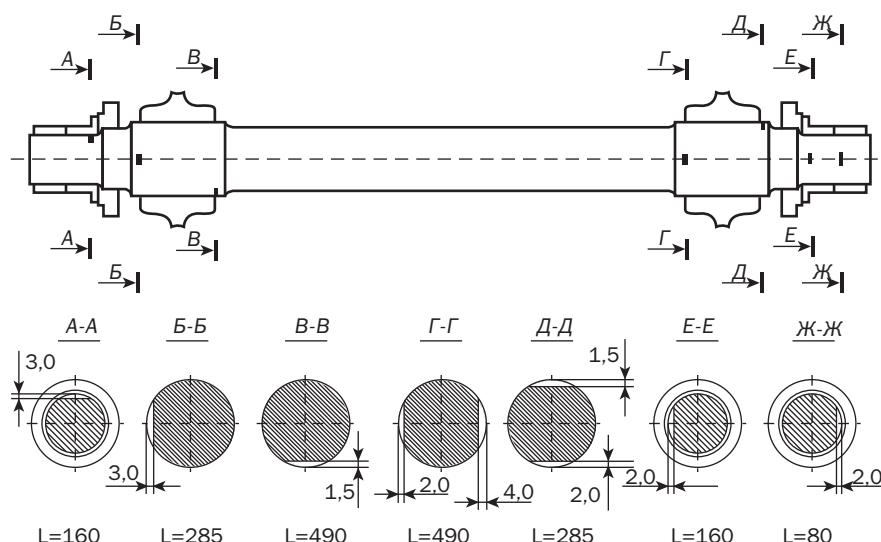


Рис. 3. Настроекий образец для УЗК осей РУ-1Ш с пропилами

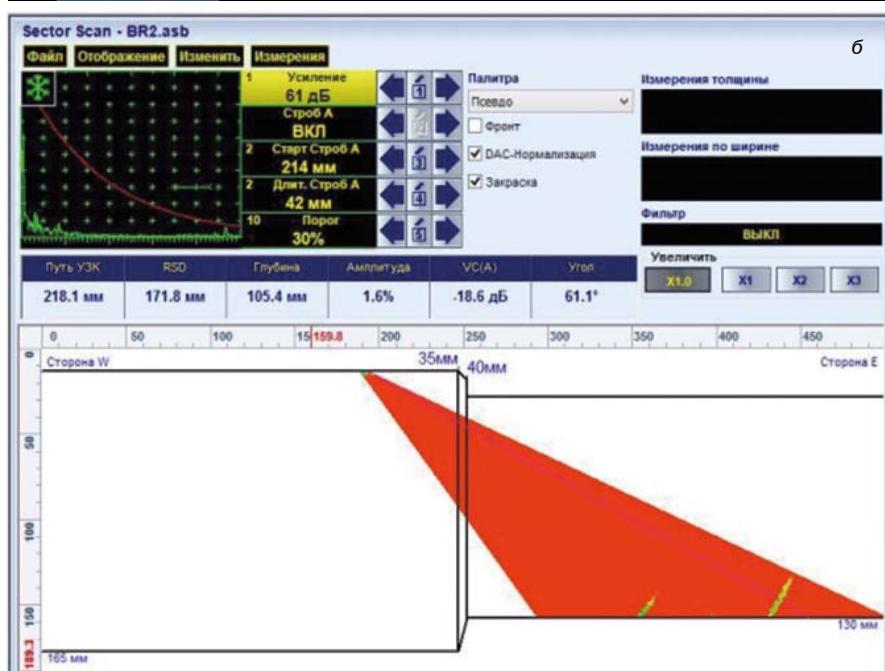
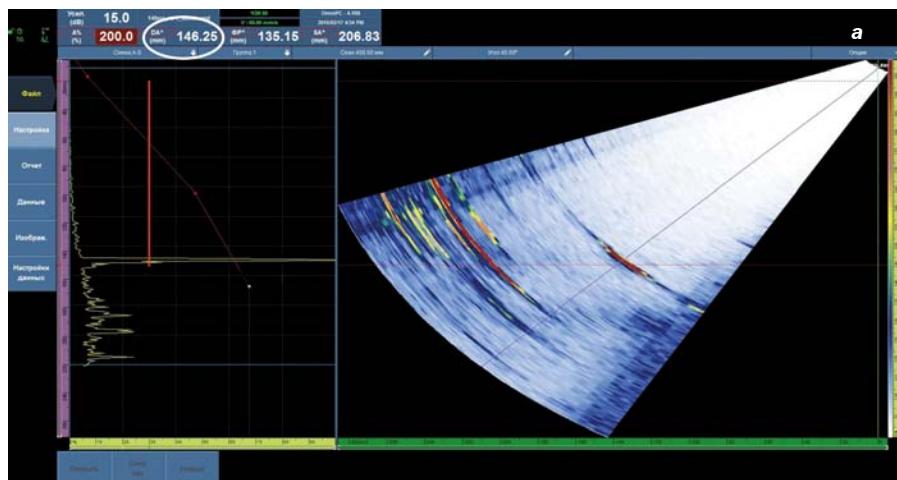


Рис. 5. Акустическое изображение пропила Ж — Ж (схема BR2): а — на экране OmniScan; б — на экране Isonic

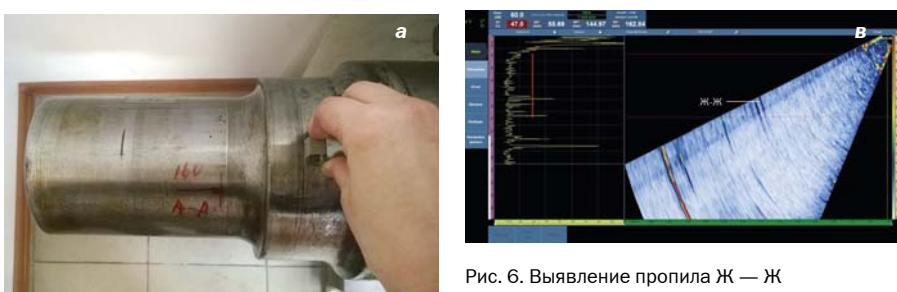
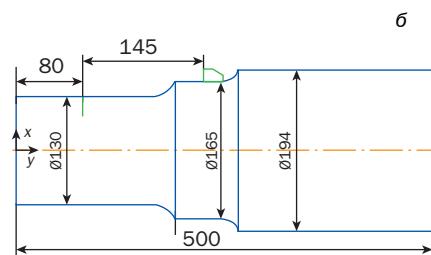


Рис. 6. Выявление пропила Ж — Ж поверхностными волнами с использованием дефектоскопа Omniscan: а — положение ФР ПЭП; б — схема установки ФР ПЭП; в — акустическое изображение пропила Ж — Ж



Процедура настройки дефектоскопа с ФР для контроля колес заключалась в настройке скорости ультразвуковых волн и калибровке задержки в призме, что было проведено по СО-З. Корректировка чувствительности по

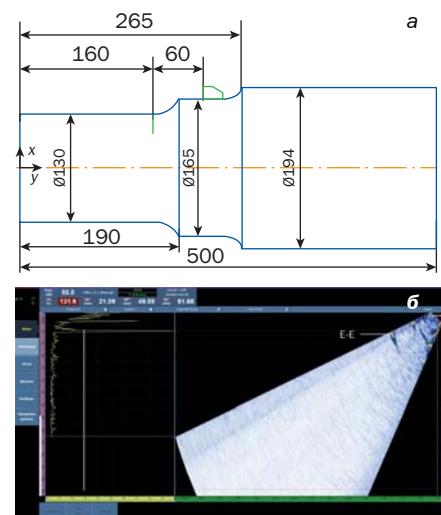


Рис. 7. Выявление пропила Е — Е поверхностными волнами с использованием дефектоскопа Omniscan: а — схема установки ФР ПЭП;

б — акустическое изображение пропила Е — Е

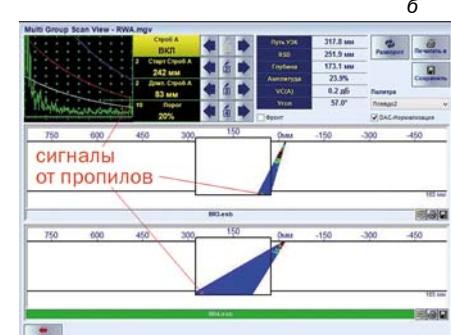
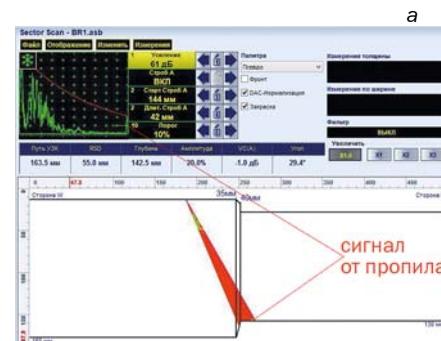


Рис. 8. Выявление пропилов Е — Е, Д — Д, Г — Г продольными и поперечными волнами с использованием дефектоскопа Isonic 2010: а — пропил в шейке на расстоянии 160 мм от торца (Е — Е); б — пропили под ступицей на расстояниях 285/490 мм от торца (Д — Д / Г — Г)

углам выполнена по БЦО Ø 6 мм на глубине 15 мм в СО-2. Настройка ВРЧ по углу 50° по БЦО Ø 6 мм на глубине 15 мм и 44 мм в СО-2. При работе применялся метод секторного сканирования в диапазоне углов от 35 до 70° (рис. 9, 10). Полученный закон применялся ко всем другим углам в секторе.

Обязательные варианты метода УЗК цельнокатанных колес включают в себя контроль с внутренней боковой по-

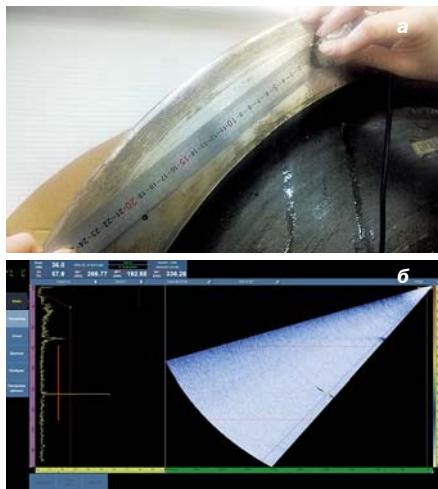


Рис. 9. Выявление засверловки $\varnothing 4$ мм, выполненной на внутренней боковой поверхности с использованием дефектоскопа Omniscan: а — схема прозвучивания DR 3.2; б — акустическое изображение засверловки, полученное на расстоянии 200 мм по поверхности от ФР ПЭП

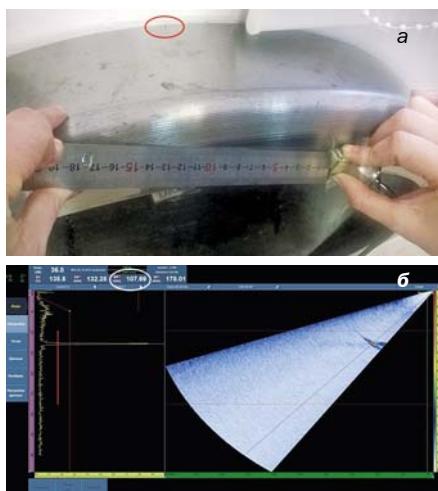


Рис. 10. Выявление пропила глубиной 3 мм на внешней боковой грани обода с использованием дефектоскопа Omniscan: а — схема прозвучивания DR 3.1; б — акустическое изображение пропила, полученное на расстоянии 110 мм по поверхности от ФР ПЭП

верхности в окружном направлении под уровнем поверхности катания на предмет выявления поперечных трещин и внутренних дефектов гребня по схеме DR3.3 (рис. 11).

При контроле дефектоскопом Isonic 2010 в качестве эталонного отражателя использовалось плоскодонное сверление диаметром 3 мм глубиной 2 мм от поверхности (рис. 12). Настройка производилась при угле ввода 50°. В результате работы были получены следующие результаты (рис. 13): при контроле датчиком, развернутым под углами 90° и 45° к внешней боковой поверхности, хорошо видны отражение от стенки пло-

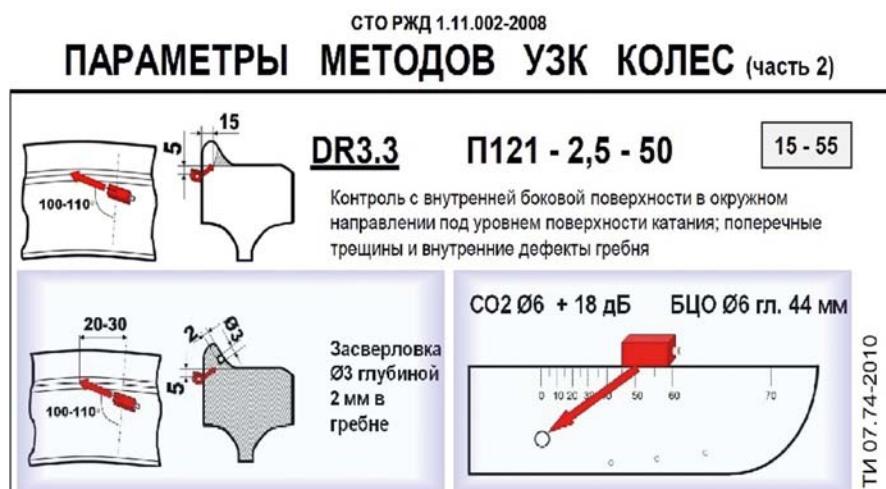


Рис. 11. Схема контроля колес (сечение DR 3.3)

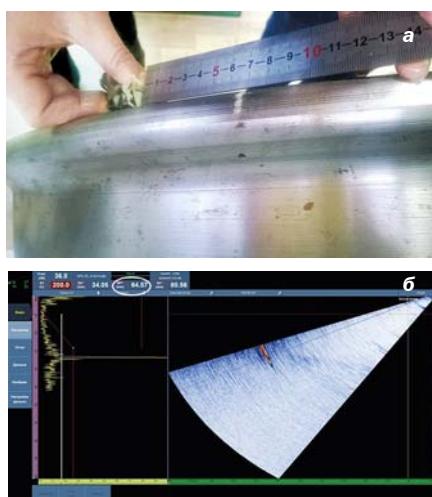


Рис. 12. Выявление засверловки $\varnothing 3$ мм глубиной 2 мм, выполненной в гребне с использованием дефектоскопа Omniscan: а — схема прозвучивания DR 3.3; б — акустическое изображение засверловки на расстоянии 65 мм по поверхности от ФР ПЭП

скодонного сверления и границы колеса (реборды).

Контроль (DR3.1) с внутренней боковой поверхности в окружном направлении под уровнем поверхности катания на предмет выявления усталостных трещин на внешней боковой грани обвода (рис. 14).

Контроль производился со стороны внутренней боковой поверхности колеса. В качестве эталонного отражателя использовался пропил глубиной 3 мм от поверхности. Настройка производилась при угле ввода 40°. При работе применялся метод секторного сканирования (Sector Scan) в диапазоне углов от 35 до 70°. При этом достигалось уверенное выявление эталонного дефекта в теле поверхности катания (рис. 15).

Контроль (DR2.1) с внутренней боковой поверхности: на выявление уста-

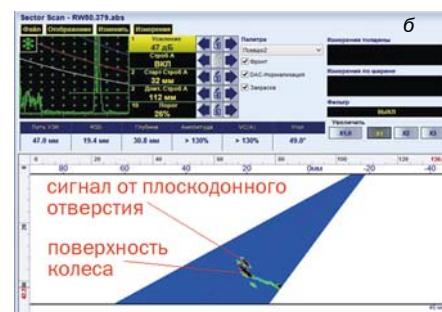


Рис. 13. Выявление плоскодонного сверления с использованием дефектоскопа Isonic 2010, контроль с внешней поверхности: а — схема прозвучивания DR 3.2; б — акустическое изображение сверления угол 90°; в — акустическое изображение сверления угол 45°

лостных трещин, перпендикулярных поверхности катания, и других внутренних дефектов (рис. 17).

Контроль производился со стороны поверхности катания прямым преобразователем. Сканирование проводилось методом секторного сканирования

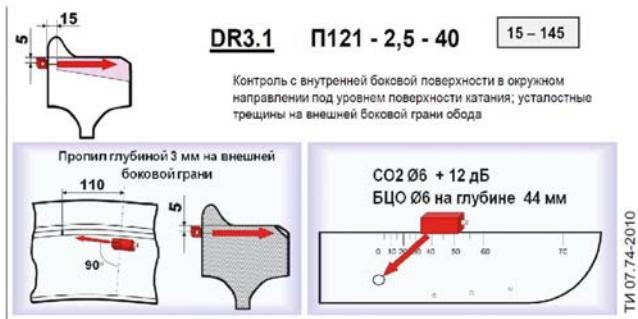


Рис. 14. Схема контроля DR3.1



Рис. 15. Выявление отражателей с использованием дефектоскопа Isonic 2010, контроль с внутренней поверхности, схема прозвучивания DR 3.1; а — акустическое изображение пропила; б — акустическое изображение бокового сверления диаметром 5 мм на глубине 70 мм от поверхности

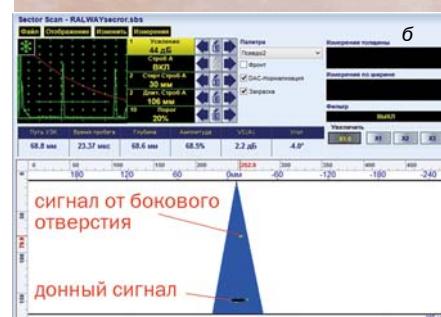


Рис. 17. Выявление бокового сверления с использованием дефектоскопа Isonic 2010, контроль со стороны поверхности катания прямым преобразователем, схема прозвучивания DR 2.1: а — схема прозвучивания; б — акустическое изображение сверления

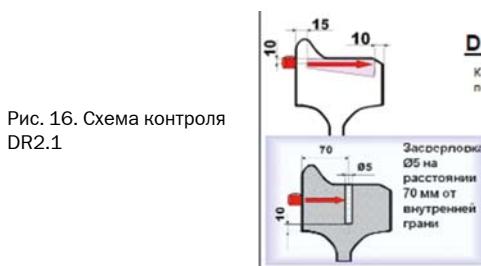


Рис. 16. Схема контроля DR2.1

$\pm 10^\circ$ (для лучшего выявления усталостных трещин), а также ABI Scan под прямым углом к контролируемой поверхности. В качестве эталонного дефекта — боковое сверление диаметром 5 мм на глубине 70 мм (рис. 16).

Контроль боковых рам

76

Нормативными документами УЗК боковых рам не регламентируется. Сложная форма и неровность поверхности сканирования, необходимость ее зачистки, сложный профиль донной по-

верхности — только малый перечень трудностей, с которыми может столкнуться специалист при УЗК обычным ПЭП. Конечно, требования к поверхности сканирования при УЗК ФР (хотя есть возможность применять специальные призмы) никуда не исчезнут, но определить профиль донной поверхности становится возможным (рис. 18, 19).

Результаты испытаний боковых рам, рекомендации по настроенным образцам и акустические изображения естественных и искусственных дефектов

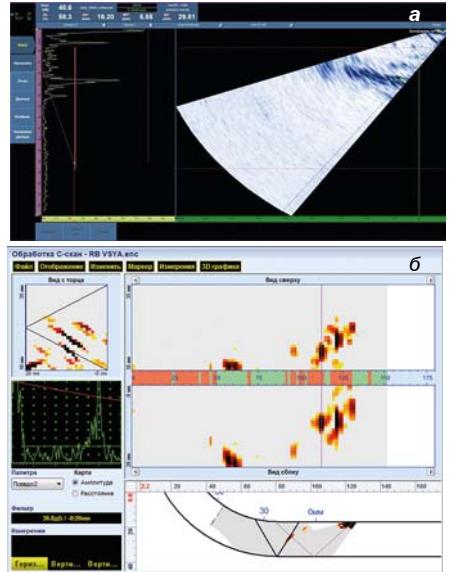


Рис. 18. Профиль донной поверхности, полученный на Omniscan (а), Isonic 2010 (б)

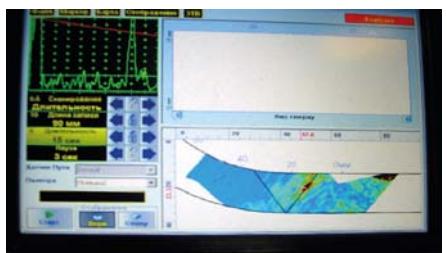


Рис. 19. Пример постобработки данных на Isonic 2010

в различных фрагментах боковых рам, а также выводы по чувствительности будут приведены в следующей статье.

Литература

- Introduction to phased array ultrasonic technology applications: R/D Tech Guideline: — Quebec (Canada): R/D Tech Inc., 2004, 348 p.

- Щербинский В.Г. Технология ультразвукового контроля сварных соединений. — СПб.: Издательство «СВЕН», 2014. — 500 с.

- Прохоренко А. А. Определение возможностей дефектоскопов с ФР по фокусировке ультразвукового пучка. — В мире НК. 2014. № 3. С. 56–58.

- Дымкин Г. Я., Цомук С. Р. Новые нормативные документы по неразрушающему контролю грузовых вагонов при ремонте. — В мире НК. 2014. № 1. С. 78–80.

References

- Introduction to phased array ultrasonic technology applications: R/D Tech Guideline. Quebec (Canada), R/D Tech Inc., 2004, 348 p.

- Shcherbinskii V. G. Tekhnologiya ul'trazvukovogo kontrolya svarnykh soedineniy [Technology of welded joints ultrasound testing]. St. Petersburg, SVEN Publ., 2014, 500 p. (in Russ.).

- Prokhorenko A. A. V mire NK [NDT World]. 2014, no. 3, pp. 56–58 (in Russ.).

- Dymkin G. Ya., Tsomuk S. R. V mire NK [NDT World]. 2014, no. 1, pp. 78–80 (in Russ.).

Статья получена 16 июля 2015 г.,
в окончательной редакции — 7 августа