



Ultrasonic Phased Array Inspection 6. Applications Based on Use of Matrix Array Probes

G. Passi

The article describes applications based on use of matrix phased array probes.

УЗК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА ФАЗИРОВАННЫХ РЕШЕТКАХ – СПОСОБЫ СКАНИРОВАНИЯ, ТРЕБОВАНИЯ К АППАРАТУРЕ И ПРИМЕРЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ*

6. Применение матричных ФР-преобразователей

В [1 – 5] основные принципы управления ультразвуковым лучом в объекте контроля с применением преобразователей на фазированных решетках (ФР) проиллюстрированы различными примерами, как общего характера, так и решениями реальных задач. Подборка всех без исключения примеров основана на применении простейших и наиболее распространенных линейных ФР, обеспечивающих манипулирование ультразвуковым лучом лишь в плоскости падения луча (двумерное) и фокусировкой ультразвукового пучка в линию (точка – в плоскости падения луча, линия – в дополнительной плоскости). Настоящая статья посвящена матричным ФР-преобразователям и их применению.

Сдвоенные линейные ФР (2 × N)

Будучи аналогом двухэлементных раздельно-совмещенных наклонных преобразователей, сдвоенные линейные ФР представляют собой комбинацию из двух линейных на общей подложке при ширине каждого из элементов, превосходящей в несколько раз шаг решетки. Подложка

может быть плоской или в форме двугранного угла. Как правило, сдвоенные линейные ФР-преобразователи содержат 32 элемента при организации 2 × 16 (реже – 64 элемента при организации 2 × 32), одна половина из которых составляет излучающую, а другая – приемную апертуру (рис. 1). Очевидно, что применение таких ФР аналогично использованию



Рис. 1. Сдвоенный линейный ФР-преобразователь и призма для контроля аустенитных швов (производство фирмы Sonotron NDT)



Пасси Гарри

Генеральный директор и научный руководитель фирмы Sonotron NDT (Израиль).
Доктор наук, профессор, III уровень НК в пяти дисциплинах (UT, ET, MPI, MIA, RT).

*Шестая статья серии. Пять первых опубликованы в [1 – 5].

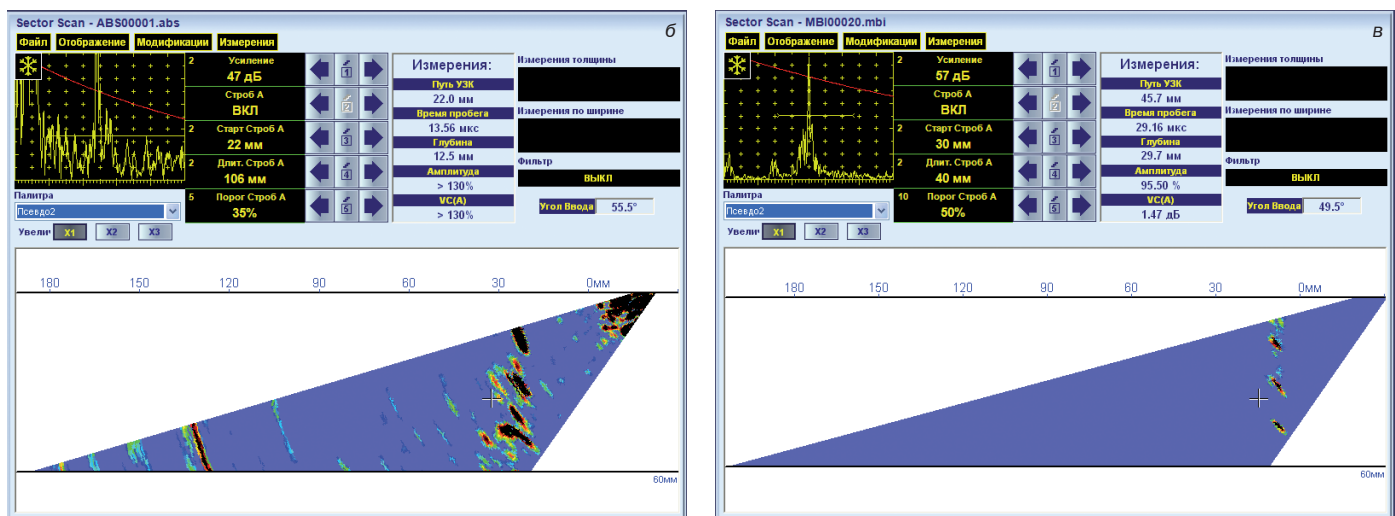


Рис. 2. Настроочный образец для контроля изделия из специальной стали с боковыми цилиндрическими сверлениями в материале шва (а) и отображение поперечного сечения образца при использовании линейного призматического ФР-преобразователя (б) и сдвоенного линейного ФР-преобразователя (в)

двухэлементных раздельно-совмещенных преобразователей, а управление ультразвуковым лучом (фокусировка пучка в линию, манипулирование углом ввода и/или точкой выхода луча), так же, как и для линейных ФР, осуществляется в одной плоскости. Типичные примеры применения сдвоенных линейных ФР:

- контроль аустенитных сварных швов способом качающегося луча, когда так же, как и для двухэлементных раздельно-совмещенных наклонных преобразователей, использование продольных волн обеспечивает снижение уровня шумов структуры, однако, во избежание ложной интерпретации, контроль ведется только прямым лучом (рис. 2);
- выявление коррозии, при котором объект контроля прозвучивается продольной волной способом бегающего луча [6].

M × N – матричные (M, N > 2) ФР

M × N – матричные ФР-преобразователи при M, N > 2 пока применяются до-

статочно редко. Это, в первую очередь, связано с несовершенством большинства коммерчески доступных моделей дефектоскопов с ФР, обусловленным применением мультиплексирования, исключаящим возможность излучения-приема большим, чем шестнадцать (в редких случаях – тридцать два) каналами одновременно. Как следствие – применение матричных преобразователей в практике контроля не развивалось. Появление на рынке приборов с параллельной организацией каналов, таких как, например, ISONIC 2009 UPA Scope, ISONIC 2010, ISONIC PA AUT фирмы Sonotron NDT дало толчок к прогрессу в этом направлении и уже позволило найти новые эффективные решения для ряда актуальных задач.

Трехмерное управление ультразвуковым лучом, изображение типа 3D-скан

На рис. 3 представлены примеры экрана дефектоскопа ISONIC 2009 UPA Scope при работе в режиме одиночно-

го фокального закона, определяющего излучение-прием продольной волны с использованием 64-элементного матричного ФР-преобразователя (8 × 8), контактирующего с материалом через линию задержки. Видно, что при использовании двумерной решетки возможно управлять как углом ввода, так и углом разворота ультразвукового луча. Таким образом, при фиксированном расположении матричного ФР-преобразователя на объекте контроля можно прозвучивать *определенный объем материала* (Region of Interest – ROI), а не единственное поперечное сечение, как в случае применения линейной ФР. Линейные размеры ROI могут превышать размер матричного ФР-преобразователя – данное положение иллюстрируется на рис. 4.

Объем, подлежащий прозвучиванию, автоматически разделяется прибором на элементарные субобъемы, а серия фокальных законов определяется таким образом, что ультразвуковой пучок последовательно пере-

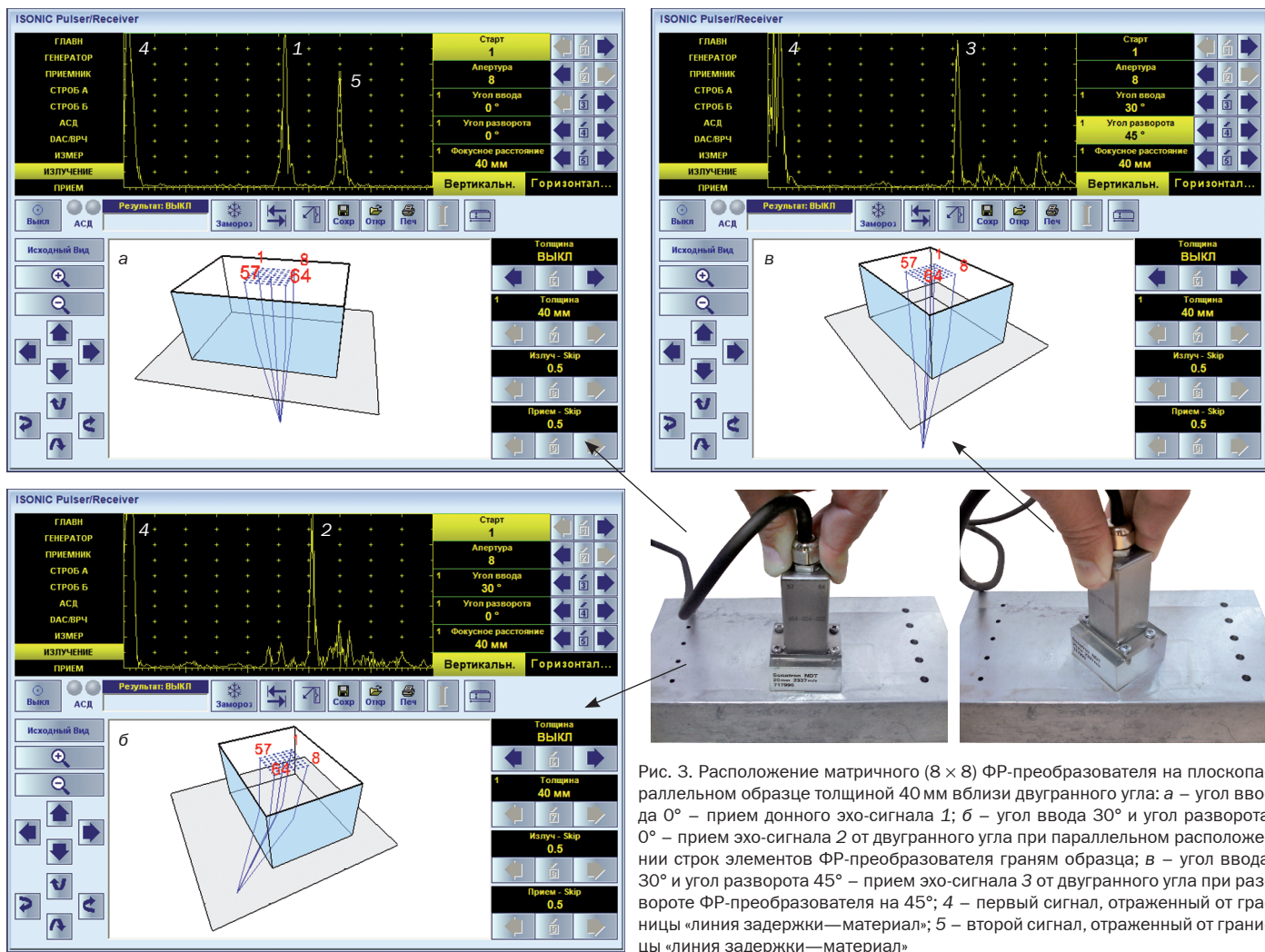


Рис. 3. Расположение матричного (8 × 8) ФР-преобразователя на плоскопараллельном образце толщиной 40 мм вблизи двугранного угла: а – угол ввода 0° – прием донного эхо-сигнала 1; б – угол ввода 30° и угол разворота 0° – прием эхо-сигнала 2 от двугранного угла при параллельном расположении строк элементов ФР-преобразователя граням образца; в – угол ввода 30° и угол разворота 45° – прием эхо-сигнала 3 от двугранного угла при развороте ФР-преобразователя на 45°; 4 – первый сигнал, отраженный от границы «линия задержки—материал»; 5 – второй сигнал, отраженный от границы «линия задержки—материал»

секает каждый из них. Полученные этим способом А-сканы запоминаются и обрабатываются таким образом, что цвет каждого элементарного субъема кодируется в соответствии с амплитудой эхо-сигнала. В результате формируется трехмерное изображение внутреннего содержания объекта (3D-скан). Признаком обнаружения дефекта, как и при обычном контроле эхо-методом, является прием эхо-сигнала, амплитуда которого превышает заданный уровень. В результате дефекты в контролируемом **объеме**, а не в сечении, как для линейных ФР, индицируются немедленно после установления контакта матричного ФР-преобразователя с объектом без какого-либо механического перемещения преобразователя.

Типичный пример применения контроля с формированием изображения типа 3D-скан иллюстрируется рис. 5. При массовом выпуске небольших литых изделий часто контролируют не весь объект, а его определенный участок, наиболее подверженный образованию дефектов (инородных

включений, пор, и т. п.), так как известно, что при отсутствии дефектов в данном сегменте вероятность их наличия во всем изделии равна нулю. Контроль выполняется в автоматическом режиме, когда робот-манипулятор по одному захватывает изделия и устанавливает их на матричный ФР-преобразователь, расположенный в локальной иммерсионной ванне, и контроль требуемого сегмента выполняется в одно касание. Дефектоскоп отбраковывает дефектное изделие автоматически, выдавая соответствующий управляющий сигнал роботу-манипулятору, который изымает изделие, выполняет сортировку согласно управляющему сигналу, а затем устанавливает на ФР-преобразователь следующую деталь. По сравнению с применением обычных преобразователей скорость контроля повышается в несколько раз, при этом 3D-скан отображение настолько очевидно, что постоянное присутствие профессионального оператора УЗК второго уровня становится излишним – процессом контроля может управлять обычный техник.

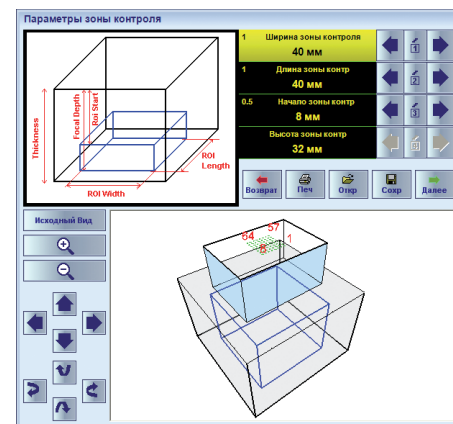


Рис. 4. Выбор зоны контроля при работе с матричным ФР-преобразователем в режиме 3D-скан в дефектоскопе ISONIC 2009 UPA Scope

Фокусирование ультразвукового пучка в точку: ультразвуковая компьютерная томография (УСТ)

Как видно из рис. 3, использование матричных ФР-преобразователей позволяет фокусировать ультразвуковой пучок в точку, а не в линию, как в случае применения линейных решеток. При иммер-

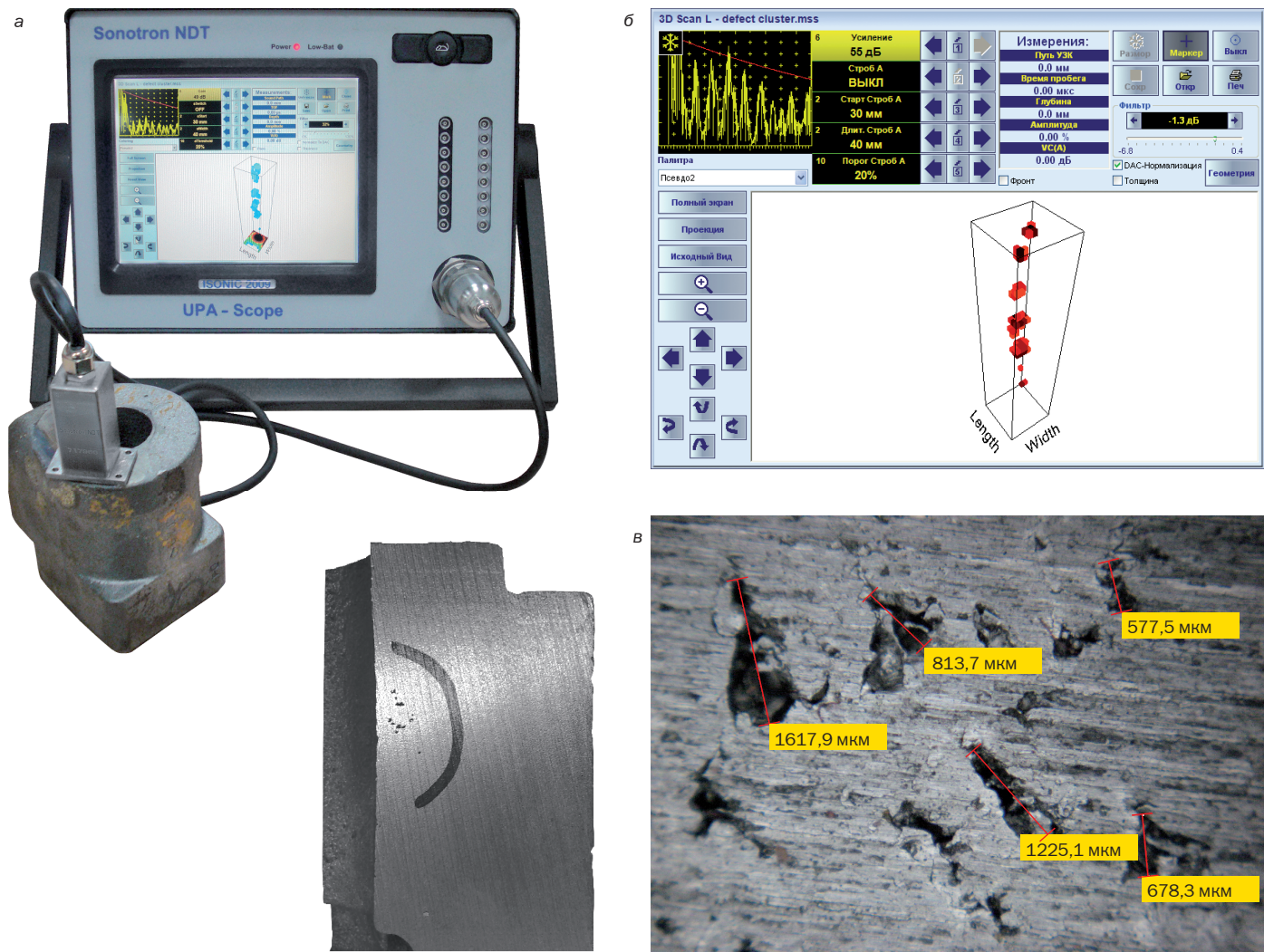


Рис. 5. Контроль заданного объема в литом изделии матричным ФР-преобразователем в одно касание (а); индикация дефектного кластера в объеме (б); подтверждение индикации металлографией (в)

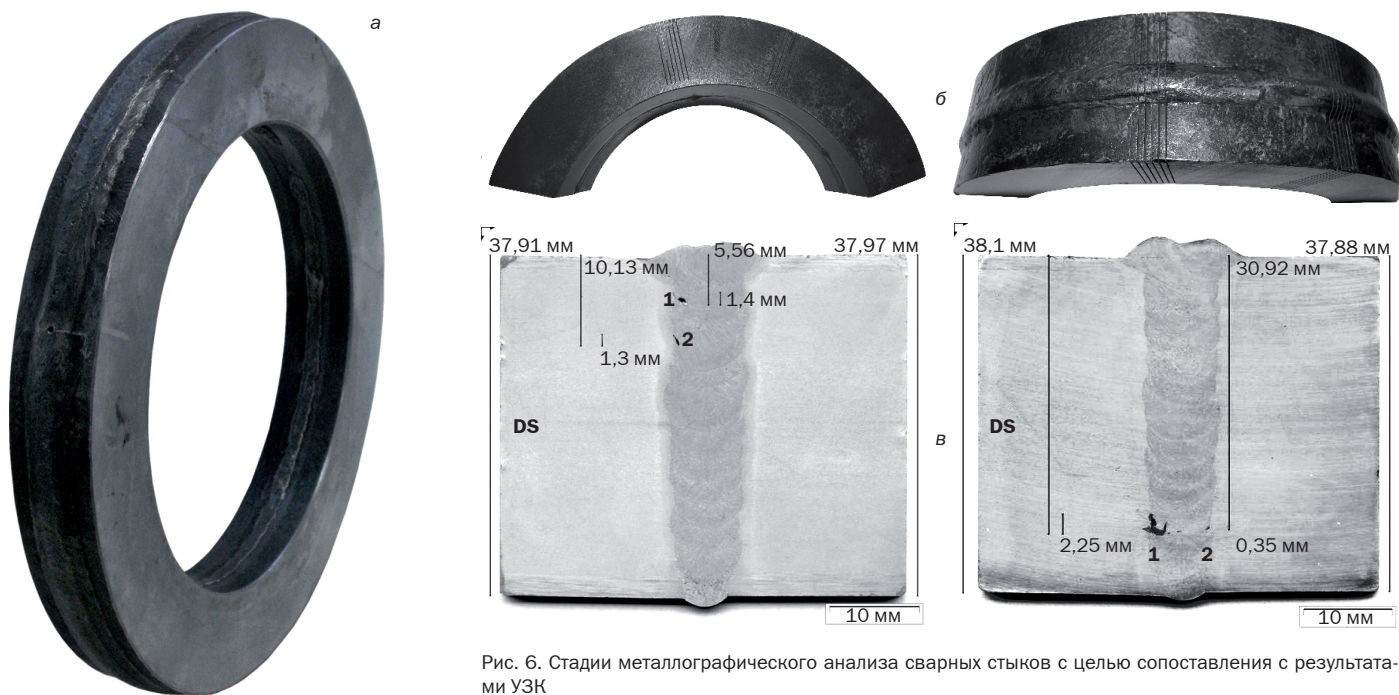


Рис. 6. Стадии металлографического анализа сварных стыков с целью сопоставления с результатами УЗК

сионном контроле с применением продольных волн это позволяет механически сканировать объект, причем в каждой точке траектории движения матричного ФР-преобразователя фокальная точка динамически перемещается от ближней до дальней от него границы объекта. При размере фокальной точки на уровне -6 дБ в эхо-режиме в стали, равном 0,5 мм (что достигается при использовании 64-элементного (8 × 8) ФР-преобразователя с частотой 5 МГц и шагом решетки 1,5 × 1,5 мм, возбуждаемого биполярным прямоугольным зондирующим импульсом, когда апертуры излучения и приема скомпонованы из всех 64-х элементов), можно добиться послойного прозвучивания объекта с разрешением, позволяющим заменить трудоемкий процесс металлографии на этапе валидации результатов автоматизированного УЗК стыковых швов труб в соответствии со стандартом [7] или аналогичными документами. Согласно этому стандарту из каждого проконтролированного образца трубы вырезается кольцо, содержащее сварной шов и зону термического влияния с двух сторон от него (рис. 6а). Далее выполняется так называемая «салями» – нарезка кольца вдоль оси трубы с шагом 2 мм (рис. 6б), после чего изготавливаются макрошлифы поперечных сечений (рис. 6в), которые и сопоставляются с результатами автоматизированного УЗК. На рис. 7 представлены результаты иммерсионного контроля цельного кольца, иллюстрирующие достижимость тре-

буемой точности анализа без изготовления макрошлифов. Контроль выполняется с применением платформы ISONIC PA AUT в иммерсионной ванне, позволяющей контролировать кольцевые сегменты труб диаметром до 1,5 м*.

Таким образом, за счет замены металлографии ультразвуковой компьютерной томографией, основанной на использовании матричных ФР-преобразователей, процесс валидации для больших проектов сокращается с нескольких месяцев до одной-двух недель, а затраты на ее проведение – как минимум втрое. Данное решение уже используется рядом ведущих фирм, специализирующихся на металлографическом анализе.

Выводы

1. Благодаря трехмерному управлению ультразвуковым лучом в материале контролируемого объекта, применение матричных ФР-преобразователей открывает новые возможности для практического УЗК, обеспечивающие существенное снижение временных затрат и стоимости работ.
2. Возможность динамической фокусировки ультразвукового пучка в точку вдоль линии хода луча обеспечивает конкурентноспособность УЗК с металлографией.
3. Применение матричных ФР-преобразователей возможно только с использованием дефектоскопов с параллельной архитектурой, т. е. без мультиплексирования.

Литература

1. Пасси Г. Ультразвуковой контроль с использованием преобразователей на фазированных решетках – способы сканирования, требования к аппаратуре и примеры практического применения. 1. Излучение и прием ультразвуковых сигналов с применением фазированных решеток. – В мире НК. 2010. № 3 (49). С. 12 – 16.
2. Пасси Г. Ультразвуковой контроль с использованием преобразователей на фазированных решетках – способы сканирования, требования к аппаратуре и примеры практического применения. 2. Прозвучивание поперечных сечений объектов с применением линейных решеток – обеспечение равномерности чувствительности и единства оценки отражателей. – В мире НК. 2010. № 4 (50). С. 48 – 52.
3. Пасси Г. Ультразвуковой контроль с использованием преобразователей на фазированных решетках – способы сканирования, требования к аппаратуре и примеры практического применения. 3. Визуализация поперечных сечений – полнота прозвучивания и технология TTGI. – В мире НК. 2011. № 1 (51). С. 53 – 59.
4. Пасси Г. Ультразвуковой контроль с использованием преобразователей на фазированных решетках – способы сканирования, требования к аппаратуре и примеры практического применения. 4. Механическое сканирование ФР-преобразователями. – В мире НК. 2011. № 2 (52). С. 51 – 54.
5. Пасси Г. Ультразвуковой контроль с использованием преобразователей на фазированных решетках – способы сканирования, требования к аппаратуре и примеры практического применения. 5. Автоматический/автоматизированный контроль сварных швов. – В мире НК. 2011. № 3 (53). С. 58 – 62.
6. Phasor CV/DM. Giving Greater Confidence in Corrosion Inspection Data. – GE Sensing and Inspection Technologies, 2009. – 4 p. (доступно для просмотра и загрузки по ссылке 7EN_phasor-cv-dm.pdf)
7. Pipe Girth Weld AUT System Qualification and Project Specific Procedure Validation. – стандарт DNV-RP-F118, 2010. – 17 p.

Статья получена 8 января 2012 г.

*Видео файл, иллюстрирующий процесс контроля, доступен для просмотра по ссылке http://www.sonotronndt.com/Repinfo/EXOVA/ISONIC_PA_AUT_XY_IMMERSION_NA3.wmv

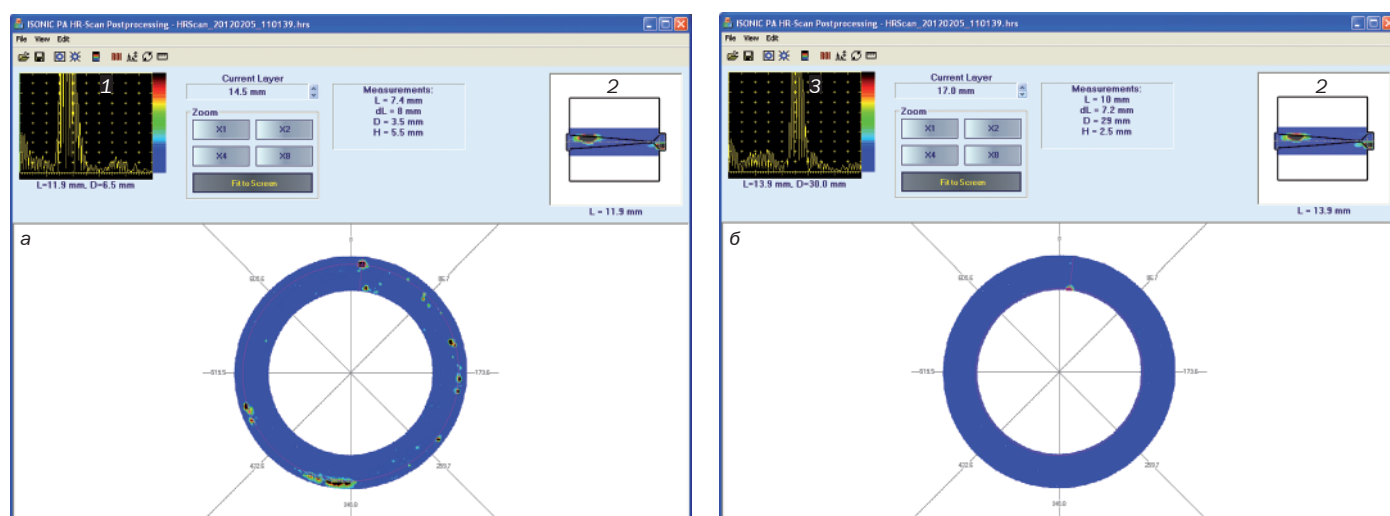


Рис. 7. Томографический анализ результатов иммерсионного контроля кольца сварного шва трубы высокого давления матричным ФР-преобразователем (шаг сканирования 0,5 мм, шаг динамической фокусировки по лучу 0,5 мм, фотография кольца представлена на рис. 6а): а – слой на расстоянии 14,5 мм – несплавление по кромке с центром на глубине 6,5 мм от поверхности трубы; б – слой на расстоянии 17 мм от поверхности кольца – корневой дефект на глубине 30 мм от поверхности трубы; 1 – эхо-сигнал из центра несплавления; 2 – виртуальный макрошлиф; 3 – эхо-сигнал из центра корневого дефекта