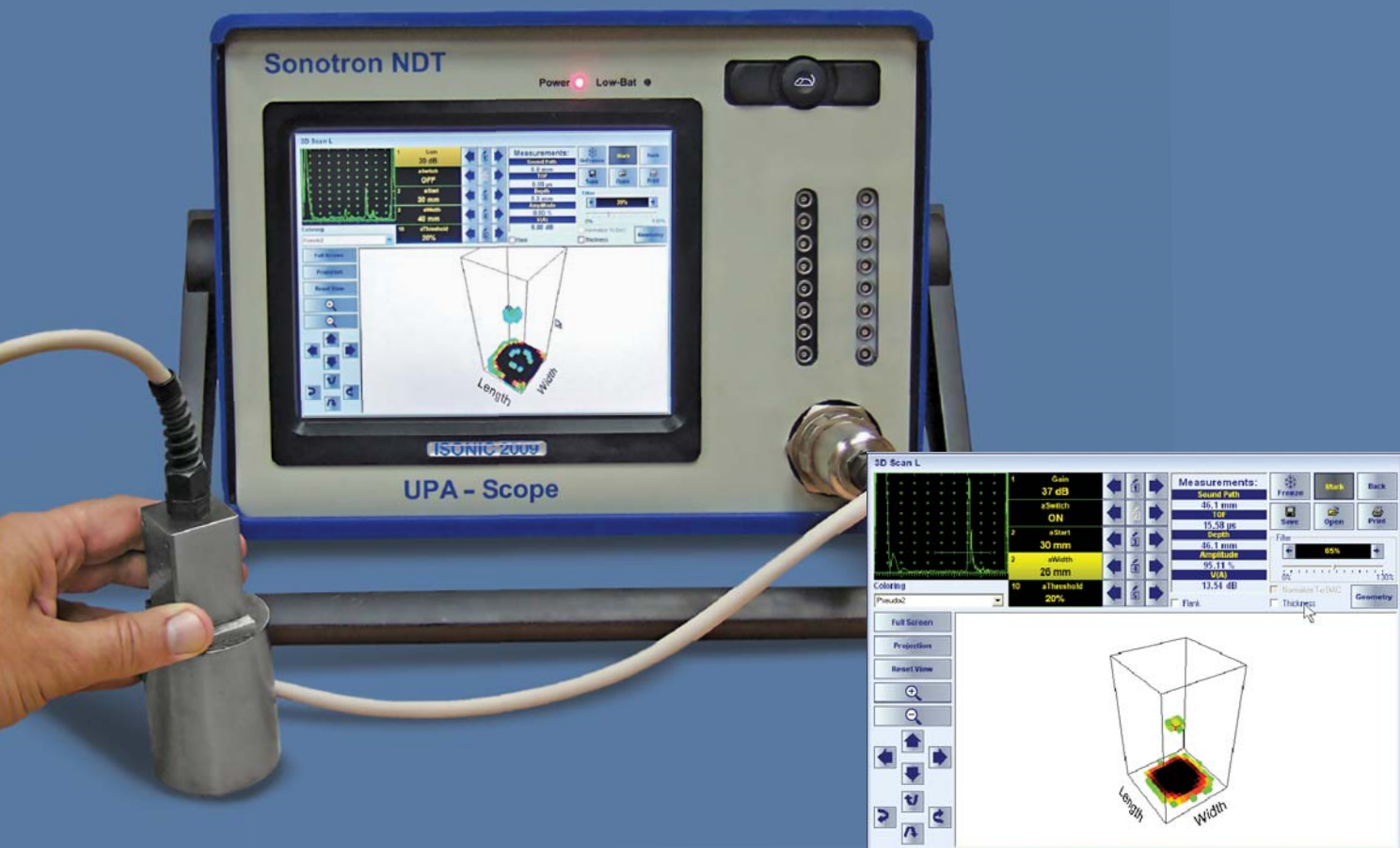


ISONIC 2009 UPA-Scope

Портативный Ультразвуковой ФР Дефектоскоп-Рекордер



ПРОСТАТА ✓ УНИВЕРСАЛЬНОСТЬ ✓ НАДЕЖНОСТЬ

ФАЗИРОВАННЫЕ РЕШЕТКИ

- ▶ 64:64 электронный модуль – независимо настраиваемые излучающая и приемная апертура, параллельные генерация УЗ колебаний, аналого-цифровое преобразование, фазировка принимаемых сигналов в реальном времени
 - ▶ ФР излучатель-приемник с трассировщиком лучей
 - ▶ Формирование B-Scan и Sector Scan (S-Scan) изображений традиционным способом и с применением уникальной True-to-Geometry Imaging (TTGI) технологии и оценкой эхо-сигналов в соответствии с типовыми стандартами и технологиями контроля для обычных преобразователей
 - ▶ Tandem-B-Scan прозвучивание одним преобразователем для выявления вертикально ориентированных плоскостных дефектов
 - ▶ Автоматический мониторинг акустического контакта без применения дополнительных каналов и датчиков
 - ▶ Режим Multi-group – одновременное прозвучивание поперечного сечения объекта с одной / двух сторон несколькими способами с использованием одного преобразователя
 - ▶ Формирование трех проекций объекта – сверху (C-Scan) и боковых направлений (Side, End Views) и трехмерного изображения путем линейного сканирования с использованием датчика координаты или по тактам часов реального времени
 - ▶ Автоматическая генерация редактируемого списка дефектов по окончании сканирования
 - ▶ Независимая получающая настройка усиления, DAC и ВРЧ при прозвучивании поперечного сечения линейно перемещающимся (B-Scan), качающимся (S-Scan) лучом, или по любой другой схеме в соответствии с реализуемой технологией контроля
 - ▶ Излучение и прием одним и тем же преобразователем отраженных и дифрагированных сигналов, включая возникшие в результате трансформации типа волн, их визуализация и оценка
 - ▶ 3D-Scan – трехмерное отображение объекта в реальном времени с применением матричных преобразователей с оценкой эхо-сигналов в соответствии с типовыми стандартами и технологиями контроля для обычных преобразователей
- 100%-я запись первичной информации (необработанные A-Scan'ы)
 - Мощное ПО для постобработки результатов контроля
 - Интуитивный русскоязычный интерфейс оператора
 - Легкий прочный корпус
 - Герметичные клавиатура и мышь
 - 8.5" яркий сенсорный экран

ОБЫЧНЫЕ И TOFD ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

- ▶ 1, 8, или 16 каналов
- ▶ Раздельный / совмещенный режимы излучения-приема
- ▶ A-Scan
- ▶ B-Scan толщины
- ▶ B-Scan дефектов для наконных и прямых преобразователей с применением TTGI технологии
- ▶ CB-Scan при контроле поверхностными / нормальными волнами
- ▶ TOFD
- ▶ Strip Chart / Stripped C-Scan – представление результатов многоканального контроля
- ▶ Параллельная / последовательная работа каналов
- ▶ DAC, DGS, ВРЧ
- ▶ Спектральный анализ сигналов – быстрое преобразование Фурье
- Ethernet и 2 порта USB
- Дистанционное управление
- Порт датчика координаты



Sonotron NDT

4, Pekeris str., Rabin Science Park, Rehovot, 76702, Israel
 Phone: +972-(0)8-9311000 Fax: +972-(0)8-9477712
www.sonotronndt.com

ООО «МНПО «СПЕКТР»

Официальный представитель в России и странах СНГ:
 119048, г. Москва, ул. Усачева, д. 35, стр. 1
 Тел: +7 495 626 5359, 626 5348



<http://www.mnpo-spektr.ru>



Ultrasonic Phased Array Inspection 4. Scanning with Use of Phased Array Probes

G. Passi

The speed limits related to scanning with use of phased array probes have been highlighted and discussed. Recording process is explained based on practical weld inspection examples.

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

4. Механическое сканирование ФР-преобразователями

Скорость перемещения ФР-преобразователя

В большинстве публикаций, посвященных УЗК с применением дефектоскопов с преобразователями на фазированных решетках (ФР), основное внимание уделяется прозвучиванию поперечного сечения, после чего отмечается, что контроль объекта выполняется путем механического продольного сканирования ФР-преобразователем, снабженным датчиком координаты, с записью последовательности электронно сканируемых поперечных сечений в память прибора. Далее, без точной количественной оценки, отмечается, что за счет замены *поперечно-продольного* сканирования обычным преобразователем *продольным* сканированием с применением

ФР-преобразователя скорость контроля увеличивается в несколько раз (см., например, [1–3]). Это породило широко распространенное ошибочное суждение о возможности механического сканирования ФР-преобразователем со скоростью того же порядка, что и обычным преобразователем, о чем уже упоминалось в [4]. На фоне негативной тенденции снижения профессионального уровня специалистов и руководителей, работающих в области НК, выявленной в [5], данная иллюзия породила появление значительного числа документов, необоснованно завышающих требования к производительности ультразвуковой дефектоскопии, что оказалось на руку тем производителям оборудования, в политике которых агрессивный маркетинг предпочитается объективному анализу сильных и слабых сторон применения ФР, но абсолютно не способствовало реальному повышению достоверности и эффективности контроля.

Максимально возможную скорость V_{PAmax} продольного сканирования ФР-преобразователем определить предельно просто:

$$V_{PAmax} = D_R / (T_{FRAME} K_{MUX}),$$

где D_R – дискретность записи результатов контроля вдоль линии сканирования;

*Четвертая статья серии. Три первые опубликованы в [4, 7, 8].

T_{FRAME} – длительность кадра поперечного сечения, $T_{FRAME} = N_{FL} / PRF$;

PRF – частота посылок;

N_{FL} – количество фокальных законов, реализуемых для формирования кадра;

K_{MUX} – коэффициент мультиплексирования (минимальное значение 1 для дефектоскопов с ФР, в которых каждый из каналов оснащен собственным аналого-цифровым преобразователем и мультиплексирование не применяется; для дефектоскопов с ФР с мультиплексорами $K_{MUX} > 1$, что еще более снижает скорость сканирования).

Предположив теперь для определенности, что прозвучивание поперечного сечения некоего сварного шва осуществляется способом качающегося луча путем манипулирования углом ввода в пределах $35 \div 70^\circ$ с дискретностью $0,5^\circ$ ($N_{FL} = 51$) при типовой частоте посылок $PRF = 1$ кГц и дискретности записи $D_R = 0,5$ мм (стандартное требование стандартов и методик), легко определить, что при параллельной работе всех каналов дефектоскопа с ФР (то есть такого, где не используется мультиплексирование) $V_{PAmax} < 10$ мм/с.

Таким образом, в идеальном случае максимально возможная скорость механического сканирования ФР-пре-



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)

образователем на порядок ниже по сравнению с использованием обычных преобразователей.

Для дефектоскопов с ФР, не обеспечивающих параллельную работу всех каналов, а потому оснащенных мультиплексорами, максимально достижимая скорость сканирования не превышает 4 мм/с при использовании одного ФР-преобразователя. В ряде таких дефектоскопов имеется возможность разветвления выхода на два ФР-преобразователя, закрепленных в сканирующем устройстве, например, для контроля стыкового шва с обеих сторон одновременно [1–3, 6]. При этом скорость сканирования не может превысить 2 мм/с, что, с учетом времени, затрачиваемого на установку и съем сканера с объекта, а также стоимости дополнительных приспособлений, делает такой контроль нерентабельным.

Следует отметить, что приведенная оценка дана без учета замедления, связанного с передачей массива данных из памяти фокальных законов (*focal laws method*) в более медленную память компьютера дефектоскопа. Можно показать, что, во избежание потери информации при скорости сканирования, близкой к максимальной, память фокальных законов дефектоскопа должна иметь мультистраничную организацию, позволяя одновременное хранение на порядок большего числа А-сканов, чем необходимо для формирования одного кадра поперечного сечения объекта. Только таким образом обеспечивается непрерыв-

ность потока информации, подлежащей записи и отображению, в противном случае следует еще больше замедлить сканирование.

Дефектоскопы с ФР, объем памяти которых не позволяет накопить более 2000 А-сканов, а таких на рынке большинство, практически непригодны для сканирования даже с невысокой скоростью, оцененной выше. В качестве компромиссного решения производители таких дефектоскопов отказываются от записи и сохранения в файле контроля необработанных А-сканов, перейдя к сохранению последовательности битмар-картинок, навязывая рынку неприемлемое объяснение о первичности данной информации, противоречащее физическим принципам УЗК и существующим стандартам.

Пример сканирования вручную – контроль стыковых сварных швов

Применительно к прозвучиванию поперечного сечения сварного шва способ качающегося луча является основным. При его реализации равномерность чувствительности в контролируемом сечении обеспечивается за счет одновременно реализуемых коррекции усиления при манипулировании углом ввода (*Angle Gain Compensation*) и нормализации эхо-сигналов по кривой «амплитуда — расстояние» (DAC) [7], а полнота прозвучивания и наглядность представления информации обеспечиваются

за счет технологии TTGI, подробно рассмотренной в [8]. В [7, 8], однако, отмечено, что способ качающегося луча обеспечивает уверенное обнаружение лишь для компактных (ненаправленных) отражателей.

Для обнаружения как ненаправленных, так и плоскостных дефектов следует сочетать способ качающегося луча с другими способами прозвучивания.

Рис. 1 иллюстрирует характерный пример такого сочетания, реализуемого дефектоскопами ISONIC 2009 UPA Scope и ISONIC 2010 фирмы Sonotron NDT с применением режима Multi-group, когда ФР-преобразователь, перемещаемый вдоль линии сплавления, реализует несколько схем прозвучивания одновременно. Видно, что несплавление по кромке шва (плоскостной дефект) не обнаруживается способом качающегося луча ввиду его неблагоприятного расположения по отношению к лучам, входящим в шов в дефектном месте, но уверенно выявляется за счет одновременной реализации прозвучивания однократно отраженным лучом перпендикулярно кромке. В определенных случаях полезно сочетать способ качающегося луча с тандемной схемой прозвучивания, обеспечивающей высокую надежность обнаружения вертикально ориентированных трещин [9].

Определив соответствующую геометрию шва и типам дефектов, подлежащих обнаружению, комбинацию схем прозвучивания, легко найти суммарное количе-

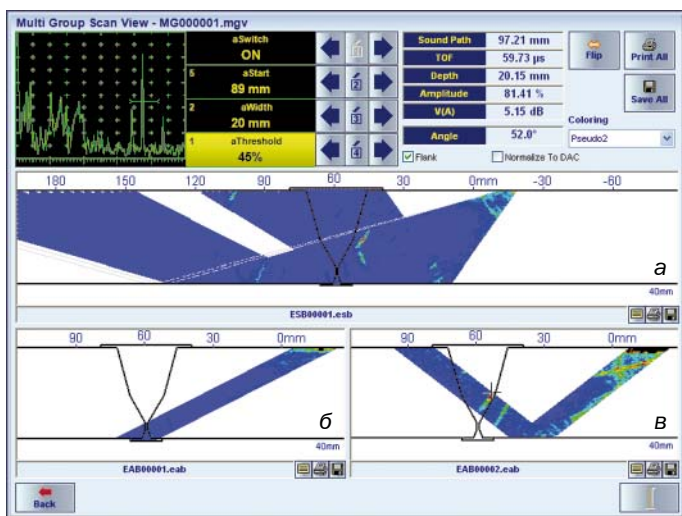


Рис. 1. Характерный экран дефектоскопов ISONIC 2009 UPA Scope, ISONIC 2010, отображающий результаты прозвучивания поперечного сечения сварного шва по трем схемам одновременно с применением одного ФР-преобразователя: а — секторное сканирование (выявляются два компактных отражателя в основном металле в зоне термического влияния); б — линейное сканирование корня шва прямым лучом (дефекты не обнаружены); в — линейное сканирование однократно отраженным лучом, перпендикулярным кромке разделки шва (выявляются несплавление по кромке — плоскостной дефект, не обнаруживаемый способом качающегося луча, а также один из ненаправленных отражателей в основном металле)



Рис. 2. Датчик координаты, основанный на измерении длины тонкого троса (а), вытянутого из неподвижного основания (б)



Рис. 3. Монолитные ФР-преобразователи в стандартных корпусах серий MWB и SWB (а) и держатель ФР-преобразователя, оснащенный излучателями ультразвука в воздухе (б)

ство фокальных законов, реализация которых необходима для полного прозвучивания поперечного сечения, и скорость сканирования. Сканирование осуществляют, оснатив ФР-преобразователь датчиком координаты (энкодером). Для сканирования вручную целесообразно применение энкодера, наименее «нагружающего» ФР-преобразователь, например, «бесколесного» датчика фирмы Sonotron NDT, устанавливаемого на объект контроля с использованием магнитного или вакуумного прижима и механически соединенного с преобразователем лишь при помощи тонкого гибкого троса, намотанного внутри энкодера на подпружиненный шкив. Координата ФР-преобразователя определяется энкодером путем отсчета длины вытянутого троса (рис. 2). Манипулирование ФР-преобразователем, подсоединенным к данному энкодеру, максимально приближено к механически свободному режиму. Это значительно упрощает работу оператора по сравнению с «колесным» энкодером и, что не менее важно, позволяет вращать ФР-преобразователь

из стороны в сторону во время продольного перемещения, повышая вероятность обнаружения поперечно ориентированных дефектов. Однако угол разворота ФР-преобразователя, как и соблюдение постоянства расстояния от него до шва, таким энкодером не могут быть определены. От указанного недостатка свободен датчик координат и угла разворота преобразователя, основанный на способе акустической локации [10, 11]. Начиная с третьего квартала 2011 г., построенный на этом принципе новый энкодер фирмы Sonotron NDT, совместимый с любым прибором серии ISONIC, будет коммерчески доступен. Подключение к дефектоскопу осуществляется через порт USB. Как и в случае применения обычных преобразователей, ФР-преобразователь размещается внутри держателя, на котором устанавливаются излучатели ультразвука в воздух, по времени пробега которых до приемников, установленных на объекте контроля, в реальном времени определяются искомые координаты и угол разворота. Применение акустической лока-

ции наиболее удобно при использовании монолитных ФР-преобразователей, изготавливаемых в стандартных корпусах наиболее популярных наклонных преобразователей серий MWB и SWB (рис. 3).

В результате сканирования вдоль оси шва получают запись последовательности поперечных сечений, отстоящих друг от друга на заданном расстоянии (в соответствии с требованиями существующих стандартов – $0,5 \div 2$ мм в зависимости от толщины основного металла) для каждой из схем прозвучивания с сохранением всех А-сканов (рис. 4). При этом обеспечивается возможность контроля сварного шва с двух сторон в несколько проходов с объединением отдельно сохраненных результатов контроля в единый файл. *

* Видео-иллюстрация этого положения доступна для просмотра по ссылкам: http://www.sonotronndt.com/RepInfo/I2009_10/RESULTS/EXPERT/W_PUZZLE/EXPERT_W_PUZZLE_I2010.wmv – процесс сканирования; http://www.sonotronndt.com/RepInfo/I2009_10/RESULTS/EXPERT/W_PUZZLE/W_PUZZLE_PP_HR.zip – постобработка (zip-архивированный файл).

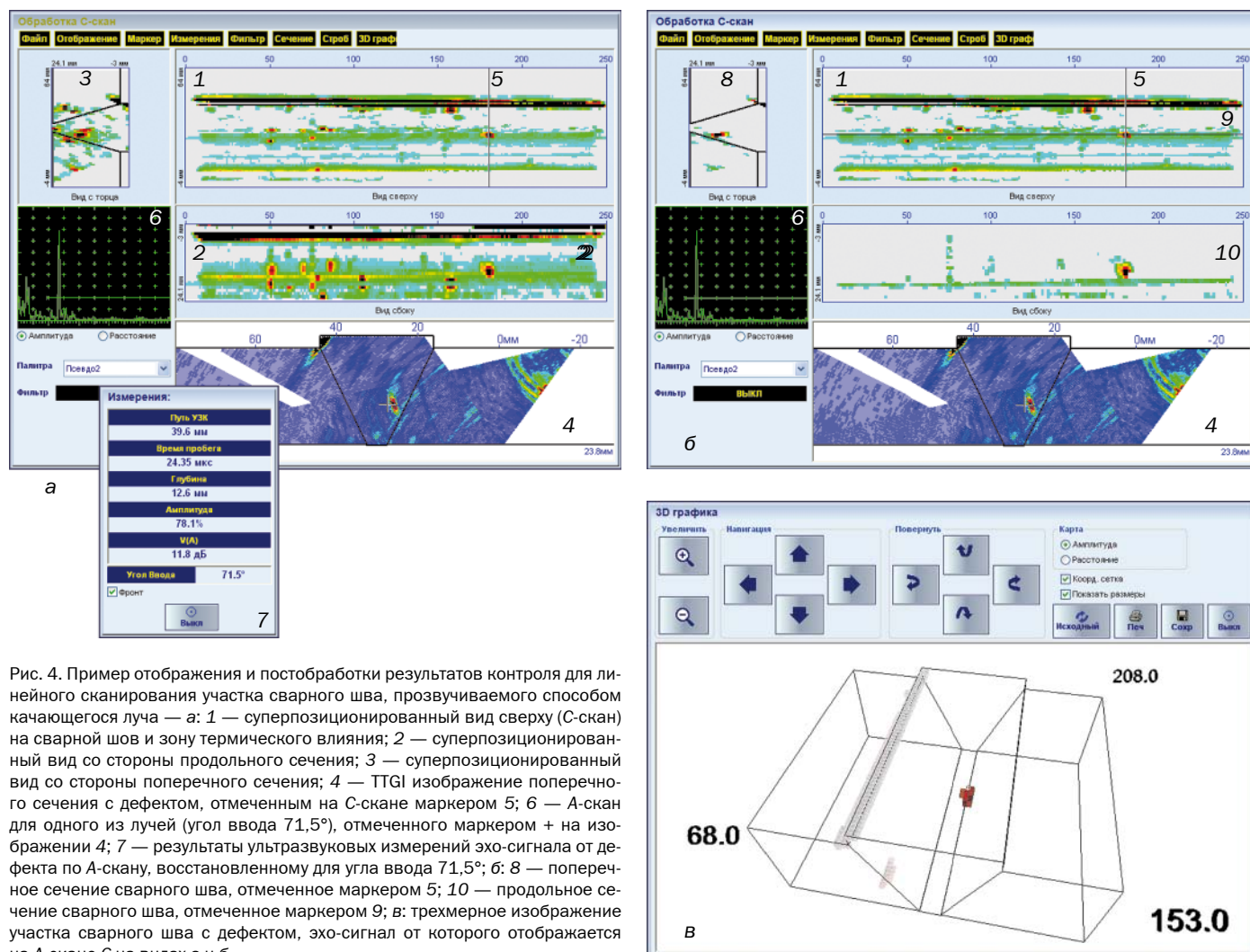


Рис. 4. Пример отображения и постобработки результатов контроля для линейного сканирования участка сварного шва, прозвучиваемого способом качающегося луча — а: 1 — суперпозиционированный вид сверху (С-скан) на сварной шов и зону термического влияния; 2 — суперпозиционированный вид со стороны продольного сечения; 3 — суперпозиционированный вид со стороны поперечного сечения; 4 — TTGI изображение поперечного сечения с дефектом, отмеченным на С-скане маркером 5; 6 — А-скан для одного из лучей (угол ввода 71,5°), отмеченного маркером + на изображении 4; 7 — результаты ультразвуковых измерений эхо-сигнала от дефекта по А-скану, восстановленному для угла ввода 71,5°; 8 — поперечное сечение сварного шва, отмеченное маркером 5; 9 — продольное сечение сварного шва, отмеченное маркером 9; в: трехмерное изображение участка сварного шва с дефектом, эхо-сигнал от которого отображается на А-скане б на видах а и б

Выводы

1. Максимально возможная скорость механического сканирования ФР-преобразователем на порядок ниже по сравнению со скоростью при использовании обычных преобразователей.
2. Во избежание потери информации при скорости сканирования, близкой к максимальной, память фокальных законов дефектоскопа с ФР должна иметь мультистраничную организацию, позволяя одновременное хранение на порядок большего числа А-сканов, чем необходимо для формирования одного кадра поперечного сечения объекта.
3. Скорость сканирования ФР-преобразователем должна регламентироваться процедурой контроля.
4. Для обнаружения как ненаправленных, так и плоскостных дефектов следует сочетать способ качающегося луча с другими способами прозвучивания.
5. С учетом ограничения максимально возможной скорости сканирования применение портативных дефектоскопов с разветвлением выхода на два

ФР-преобразователя вкуче с несущим их сканером нерентабельно.

6. Высокопроизводительному автоматизированному УЗК с одновременным использованием ФР, обычных, а также TOFD преобразователей будет посвящена следующая статья серии.

Литература

1. Introduction into Phased Array Ultrasonic Technology Applications. R/D Tech Guideline. — Olympus NDT, 2004-2007. — 376 p.
2. Phased Array Testing — Basic Theory for Industrial Applications. — Olympus NDT, 2004–2010. — 122 p.
3. Advances in Phased Array Ultrasonic Technology Applications. — Olympus NDT, 2007–2010. — 512 p.
4. 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.
5. Rosales J. Consolidation, Lack of Training among Challenges Facing NDT Market. — Frost & Sullivan, June 22, 2007 (available for download at <http://www.frost.com/prod/servlet/market-insight-top.pag?docid=100574393>).
6. USM Vision. A Total Weld Inspection Solution to Increase Productivity in New Process Pipework

Fabrication/GE Measurement & Control Solution Company Brochure, 2011. — 8 p.

7. 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.

8. 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.

9. Пасси Г. Технология фазированных решеток — современная реализация передовых решений в области УЗК, накопленных в прошлом веке. — В мире НК. 2009. № 2 (44). С. 56–64.

10. ISONIC 2006 — Portable Digital Ultrasonic Flaw Detector and Recorder with B-Scan, C-Scan, D-Scan, P-Scan, and TOFD Inspection and Imaging Capabilities. — Operating Manual, Revision 1.21. — Sonotron NDT, Jan 6, 2007. — 480 p. (available for download at <http://www.sonotronndt.com/pdf/om2006.pdf>).

11. Пасси Г. Современная аппаратура для УЗК металлоконструкций. — В мире НК. 2003. № 4 (22), с. 43–49.

Статья получена 15 июня 2011 г.

КОРОТКО**КОМПАНИЯ SONOTRON NDT ОБЪЯВИЛА
ОБ ОТКРЫТИИ ЕВРОПЕЙСКОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО ЦЕНТРА В ГЕРМАНИИ**

Центр создан на базе фирмы United NDT, субсидированной компанией Sonotron NDT (Израиль).

Компанию United NDT возглавляет г-н Питер Тоббен (Peter Toeppen), который в течение последних 24 лет являлся ведущим сотрудником Krautkraemer/GE Inspection Technologies и отвечал за техническую поддержку продаж, а сейчас принял на себя управление дальнейшим развитием структурных подразделений компании Sonotron NDT в Европе и ряде других регионов.

Sonotron NDT по-прежнему будет осуществлять поддержку своих представителей, дилеров и клиентов из Израиля, а дополнительно — из нового Европейского технического центра, который так же будет проводить демонстрации новых продуктов, организовывать курсы по обучению специалистов УЗК (базовое обучение и контроль с применением фазированных решеток и TOFD), а также обеспечивать иные виды технической и коммерческой поддержки.



Internet: www.united-ndt.com

ISONIC 2010

Портативный Ультразвуковой
ФР Дефектоскоп-Рекордер



ПРОСТАТА ✓ УНИВЕРСАЛЬНОСТЬ ✓ НАДЕЖНОСТЬ

ФАЗИРОВАННЫЕ РЕШЕТКИ

- ▶ 32:32 электронный модуль – независимо настраиваемые излучающая и приемная апертура, параллельные генерация УЗ колебаний, аналого-цифровое преобразование, фазировка принимаемых сигналов в реальном времени
 - ▶ ФР излучатель-приемник с трассировщиком лучей
 - ▶ Формирование B-Scan и Sector Scan (S-Scan) изображений традиционным способом и с применением уникальной True-to-Geometry Imaging (TTGI) технологии и оценкой эхо-сигналов в соответствии с типовыми стандартами и технологиями контроля для обычных преобразователей
 - ▶ Автоматический мониторинг акустического контакта без применения дополнительных каналов и датчиков
 - ▶ Режим Multi-group – одновременное прозвучивание поперечного сечения объекта с одной / двух сторон несколькими способами с использованием одного преобразователя
 - ▶ Формирование трех проекций объекта – сверху (C-Scan) и боковых направлений (Side, End Views) и трехмерного изображения путем линейного сканирования с использованием датчика координаты или по тактам часов реального времени
 - ▶ Автоматическая генерация редактируемого списка дефектов по окончании сканирования
 - ▶ Независимая получающая настройка усиления, DAC и ВРЧ при прозвучивании поперечного сечения линейно перемещающимся (B-Scan), качающимся (S-Scan) лучом, или по любой другой схеме в соответствии с реализуемой технологией контроля
 - ▶ Излучение и прием одним и тем же преобразователем отраженных и дифрагированных сигналов, включая возникшие в результате трансформации типа волн, их визуализация и оценка
- 100%-я запись первичной информации (необработанные A-Scan'ы)
 - Мощное ПО для постобработки результатов контроля
 - Интуитивный русскоязычный интерфейс оператора

- Легкий прочный корпус
- Герметичные клавиатура и мышь
- 6.5" яркий сенсорный экран

ОБЫЧНЫЕ И TOFD ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

- ▶ 1 канал
 - ▶ Раздельный / совмещенный режимы излучения-приема
 - ▶ A-Scan
 - ▶ B-Scan толщины
 - ▶ B-Scan дефектов для наклонных и прямых преобразователей с применением TTGI технологии
 - ▶ CB-Scan при контроле поверхностными / нормальными волнами
 - ▶ TOFD
 - ▶ DAC, DGS, ВРЧ
 - ▶ Спектральный анализ сигналов – быстрое преобразование Фурье
- Ethernet и 2 порта USB
 - Дистанционное управление
 - Порт датчика координаты



Sonotron NDT

4, Pekeris str., Rabin Science Park, Rehovot, 76702, Israel
Phone: +972-(0)8-9311000 Fax: +972-(0)8-9477712
www.sonotronndt.com

ООО «МНПО «СПЕКТР»

Официальный представитель в России и странах СНГ:
119048, г. Москва, ул. Усачева, д. 35, стр. 1
Тел: +7 495 626 5359, 626 5348



<http://www.mnpo-spektr.ru>