



В помощь дефектоскописту

The Objectiveness Degree of the Recorded Ultrasonic Inspection Results

G. Passi

The ultrasonic equipment recording just the testing integrity along with the defects images still does not provide the highest objectiveness of the inspection results. To step forward the ISONIC Product Line from Sonotron NDT is featured with the technology additionally allowing the complete capturing of the primary information whilst scanning various objects manually

Степень объективности регистрируемых результатов ультразвукового контроля

46

Неразрушающий контроль может использоваться в качестве компонента системы мониторинга ответственных объектов лишь при условии, что объективность его результатов не вызывает сомнений. Для обеспечения объективности результатов ультразвуковой дефектоскопии необходима независимая от оператора регистрация [1 – 4]:

- фактически выполненного объема контроля в сопоставлении с заданным, что осуществляется посредством непрерывного слежения за состоянием акустического контакта и плотностью сканирования;

Об авторе



Пасси Гарри

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



- информации о качестве объекта контроля, то есть об отсутствии или наличии дефектов и их характеристиках. Данная информация используется при прогнозировании ресурса работы объекта, в котором обнаружены дефекты. Наиболее употребительным в настоящее время является подход, при котором обеспечивается визуализация дефектов в виде проекционных изображений в В-, С-, D-сканах в различных сочетаниях.

Проекционные изображения дефектов достаточно наглядны и с приемлемой точностью указывают их местоположение и условные размеры. Однако следует учесть, что при формировании этих изображений неизбежно применение амплитудной и временной отсечки, когда регистрируются сигналы, превосходящие по амплитуде заданный пороговый уровень и совпадающие во времени со

Рис. 1. Контроль дна резервуара (Пермская область, декабрь 2004 г.)

строб-импульсом зоны контроля; в противном случае проекционные изображения будут чрезвычайно зашумлены и непригодны для оперативного анализа. Помимо этого сигналы, воспринимаемые в процессе контроля, подвергаются так называемой логической отсечке, определяемой алгоритмом обработки изображений при синтезе и регистрации изображений дефектов. На сегодняшний день не существует единых правил визуализации дефектов, выявленных ультразвуком, и каждый производитель соответствующей аппаратуры применяет в ней собственные процедуры и правила принятия решения [4 – 10]. Не существует и общепризнанных стандартных образцов, позволяющих получить и зарегистрировать не только

единичные эхо-сигналы, но и эталонные проекционные изображения дефектов, и должным образом сопоставить результаты, представляемые различными типами приборов. Поэтому, несмотря на очевидный прогресс в развитии дефектоскопов, регистрирующих результаты сканирования, существующие стандарты на интерпретацию результатов УЗК по-прежнему основаны на анализе последовательностей сигналов от выявленных дефектов [11 – 17]. Таким образом, если при регистрации результатов УЗК фиксируются лишь степень его выполнения и проекционные изображения дефектов, то независимая от алгоритма визуализации дефектов интерпретация зарегистрированных результатов невозможна без выполнения повторного сканирования объекта.

Эта проблема теоретически разрешима путем создания и принятия стандартов на УЗК с регистрацией результатов. Данный путь безусловно представляется наиболее логичным, однако очевидно, что он требует вовлечения широкого круга заинтересованных сторон и неизбежно связан с длительными и трудоемкими согласительными процедурами. Вместе с тем невозможно заморозить развитие техники до появления соответствующих стандартов и тем более отменить насущную потребность рынка в средствах ультразвуковой дефектоскопии, обеспечивающих возможность независимой интерпретации зарегистрированных результатов контроля с целью объективного мониторинга и прогнозирования ресурса ответственных объектов. Поэтому единственно признанным на данный момент времени решением является оснащение средств УЗК, визуализирующих дефекты, функцией регистрации и сохранения первичной информации (А-скан-реализаций) в полном объеме в необработанном виде с возможностью реконструкции процедуры сканирования на этапе интерпретации результатов контроля.

Техническая реализация такого решения наиболее проста для случая линейного сканирования. Например, предполагая, что оцифровка сигналов осуществляется 16-разрядным аналого-цифровым преобразователем (АЦП) при частоте дискретизации 100 МГц, можно показать, что при реализации технологии TOFD с использованием линейно движущейся пары преобразователей и запоминании последовательности А-скан-реализаций с дискретностью 1 мм объем первичной информации составит от 180 Кбайт до 60 Мбайт на 1 м сварного шва. Данная оценка справедлива для диапазона толщин 10–300 мм.* Информация в пределах указанного объ-

ема достаточно легко обрабатывается и уплотняется современными цифровыми устройствами при использовании стандартных алгоритмов. Именно поэтому практически все коммерчески доступные приборы, реализующие технологию TOFD, с момента их появления позволяли не только формировать TOFD-изображения, фактически представляющие собой простейший В- или D-скан, синтезиро-

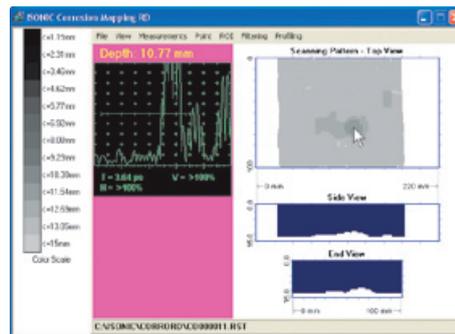


Рис. 2. Карта коррозии (С-скан) и продольное (D-скан) и поперечное (В-скан) сечения контролируемого листа

ванный из невыпрямленных (RF) сигналов, но и сохранить всю первичную информацию – последовательность А-скан-реализаций – в процессе сканирования. В результате на этапе анализа результатов TOFD-контроля эксперт имеет возможность провести необходимые измерения, базируясь не только на зафиксированных изображениях, но и на первичных сигналах, воспроизводя их в той же последовательности, в которой они возникали при сканировании. Именно сохранение и возможность последующего воспроизведения первичной информации предопределило коммерческий успех технологии TOFD в 1990-х гг. – данная технология, изначально созданная лишь для экспертного контроля сварных швов в целях оценки истинных координат и размеров дефектов с высокой степенью точности и классификации их на объемные и плоскостные, стала массово применяться для сплошного контроля, а также для ряда других целей, несмотря на ряд очевидных недостатков по сравнению с эхо-импульсным методом контроля.

Для идеального построчного сканирования при тех же начальных предположениях (оцифровка сигналов осуществляется 16-разрядным АЦП при частоте дискретизации 100 МГц, диапазон толщин от 10 до 300 мм), задавшись величиной шага сканирования 5 мм, легко получить, что объем первичной информации, подлежащей обработке, составляет от 160 Мбайт до 9 Гбайт

на 1 м сварного шва, контролируемого наклонным преобразователем, работающим на поперечных волнах.* При идеальном построчном сканировании 1 м² металла или другого материала прямым преобразователем с тем же шагом 5 мм объем первичной информации, подлежащей обработке, также огромен – от 120 Мбайт до 2 Гбайт.*

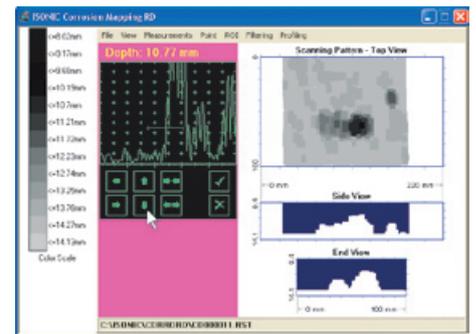


Рис. 3. Перераспределение градаций значений толщины на карте коррозии и улучшение разрешения отображения сечений объекта путем изменения задержки, длительности и порога строб-импульса зоны контроля на этапе анализа и интерпретации результатов контроля

Для построчного сканирования вручную, наиболее распространенного в практике УЗК, характерно в значительной степени стохастическое движение преобразователя, в первую очередь обусловленное тем, что оператор, как правило, выполняет контроль, находясь в не самой благоприятной обстановке (см., например, рис. 1). Поэтому объем информации, подлежащей обработке и регистрации при сканировании вручную, в несколько раз больше по сравнению с режимом идеального построчного сканирования.

В связи с огромным объемом обрабатываемой первичной информации очевидно, что для ее регистрации и сохранения при УЗК эхо-импульсным методом необходима особая технология уплотнения данных в реальном времени, реализуемая прибором независимо от оператора параллельно с регистрацией фактически выполненного объема контроля и проекционных изображений дефектов. Применение такой технологии, реализуемой в дефектоскопах серии ISONIC фирмы Sonotron NDT, реально обеспечивает возможность интерпретации результатов контроля эхо-методом различными экспертами независимо друг от друга и от алгоритма визуализа-

* Чтобы не перегружать статью, автор предпочел ограничиться лишь приведением результатов оценки объема информации, обрабатываемой при реализации различных технологий контроля. Данные расчеты доступны для всех заинтересованных специалистов. Контактная информация может быть получена в редакции журнала.

ции дефектов, реализуемого в приборе, без повторного сканирования объекта [5 – 7, 18, 19]. Данное положение наглядно иллюстрируется на простых примерах, полученных на реальных объектах контроля некоторыми из пользователей приборов ISONIC 2001 в Японии (автор благодарен специалистам фирм NDIC – Хи-хакай Кэнса и Mitsubishi-Nuclear Services за предоставленную информацию).

негоден; требуется дополнительный анализ; определенно годен; не проконтролирован. Число градаций серого цвета (или других цветовых уровней) определяется процедурой контроля и соответственно устанавливается оператором.

Использование небольшого числа цветовых градаций при сканировании предотвращает перегрузку внимания оператора

Пример 2. Распознавание и оценка вертикальной усталостной трещины в сварном шве при анализе результатов контроля наклонным преобразователем

Сканирование участка сварного шва с обработанным валиком усиления позволило обнаружить несплошность на границе наплавленного и основного металла



Рис. 4. Фотография донной поверхности контролируемого объекта (а) и его трехмерные отображения: б – восстановленное по накопленной первичной информации с дискретностью 7 мм, равной шагу сканирования, использованному при контроле; в – восстановленное по накопленной первичной информации с дискретностью 2 мм (виртуальное снижение шага сканирования вычислительными методами)

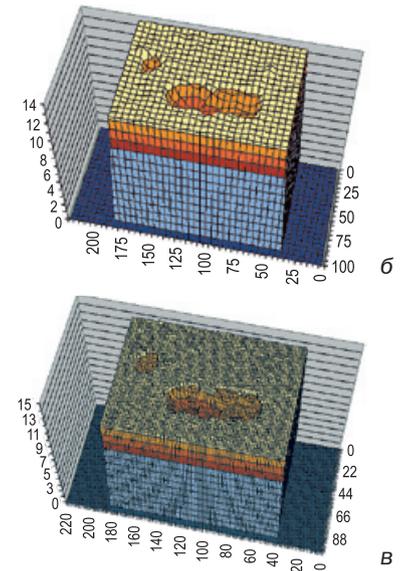
Пример 1. Картография коррозии

Элемент конструкции (номинальная толщина стенки 12,5 мм) просканирован с использованием программного пакета ISONIC CORROMAP RD и ультразвукового преобразователя MSEB 2(E) Krautkramer Ultrasonics Division, GEIT с шагом 7 мм (рис. 2). Перемещение курсора в области карты коррозии на этапе анализа результатов контроля позволяет восстановить А-скан-реализации во всей области перемещения преобразователя, совершая так называемое виртуальное сканирование с наблюдением реальных сигналов.

Восстановленные А-скан-реализации отображают также строб-импульс зоны контроля, который использовался во время сканирования, определяя амплитудную и временную отсечку при визуализации карты коррозии. Длительность строб-импульса определяет диапазон уровней серого цвета, каждый из которых соответствует определенному поддиапазону толщины объекта. Отображение карты коррозии с использованием уровней серого цвета общепринято в ряде отраслей в Японии и других странах и является лишь одним из возможных режимов отображения карты коррозии в дефектоскопе ISONIC. Также общепринято относительно небольшое число градаций (14) – в ряде отраслей даже принято отображать карту, используя всего 4 градации: определенно

избыточной информацией непосредственно во время контроля и во время анализа и интерпретации результатов, но никоим образом не ухудшает разрешение. Данное положение наглядно иллюстрируется на рис. 3. Очевидно, что данная возможность возникает лишь за счет полного сохранения первичной информации, обрабатываемой в процессе сканирования.

Возможность полного сохранения первичной информации позволяет сочетать производительность контроля, определяемую во многом относительно большим шагом сканирования, с точностью оценки на этапе анализа результатов, где требуется повышение фронтального разрешения. Это положение подтверждается на рис. 4, где показана донная поверхность изъятая из эксплуатации объекта контроля со стороны, противоположной поверхности сканирования, которая ориентирована зеркально по отношению к зарегистрированной карте коррозии и продольному сечению объекта (рис. 2 и 3). Таким же образом ориентированы и трехмерные изображения, что упрощает их сопоставление с фотографией. Ощутимое улучшение фронтальной разрешающей способности вычислительными методами реализуется за счет комплексного анализа сохраненных в полном объеме А-скан-реализаций при виртуальном повторе сближения преобразователя с дефектным участком, проходе над ним и отдалении от дефекта.



(рис. 5). Ввиду конструктивно ограниченного доступа к шву и небольшой зоны, где возможно сканирование, применялся лишь 45° преобразователь MWB-45-O4 Krautkramer Ultrasonics Division, GEIT (O4 означает расположение разъема сверху, частота 4 МГц). Сканирование осуществлялось с шагом 6 мм прямым и однократно отраженным лучом, однако, в месте обнаружения несплошности элемент конструкции объекта не позволил полностью прозвучать шов однократно отраженным лучом. Регистрация информации осуществлялась с использованием программного пакета ISONIC EXPERT.

Зарегистрированные условные изображения не позволяют четко судить об обнаруженной несплошности, однако, благодаря сохранению первичной информации в полном объеме, можно восстановить последовательность эхосигналов при сканировании в плоскости поперечного сечения сварного шва с несплошностью и классифицировать ее как вертикальную трещину (рис. 6). Фрагменты экрана прибора при виртуальном сканировании поперек шва представляют:

- максимум слабого эхо-сигнала 1 от вершины трещины (рис. 6а);
- очень слабый сигнал 2 от стороны трещины, примыкающей к основному металлу, и нарастающий при отдалении преобразователя от шва импульс 3 от корня трещины на донной поверхности (рис. 6б);

Дефектоскопы серии ISONIC 2001

- Объединение нескольких интеллектуальных систем контроля в одном портативном приборе
- Применяются в 62 странах



Sonotron NDT

www.sonotronndt.com

ЗАО «АССОЦИАЦИЯ «ТЕСТРОН»
196084, Санкт-Петербург,
Люботинский пр., дом 8А

Тел: +7 (812) 380 62 13
Факс: +7 (812) 380 62 09
E-mail: grud@testron.ru

- доминирующий максимальный эхо-сигнал 4 от корня трещины, маскирующий эхо-импульс от стороны трещины, примыкающей к основному металлу (рис. 6в);
- убывающий при дальнейшем удалении преобразователя от шва эхо-сигнал 5 от корня трещины и вновь появившийся очень слабый эхо-импульс 6 от стороны трещины, примыкающей к основному металлу (рис. 6г).

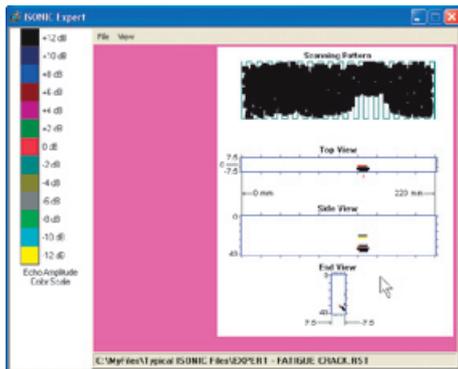


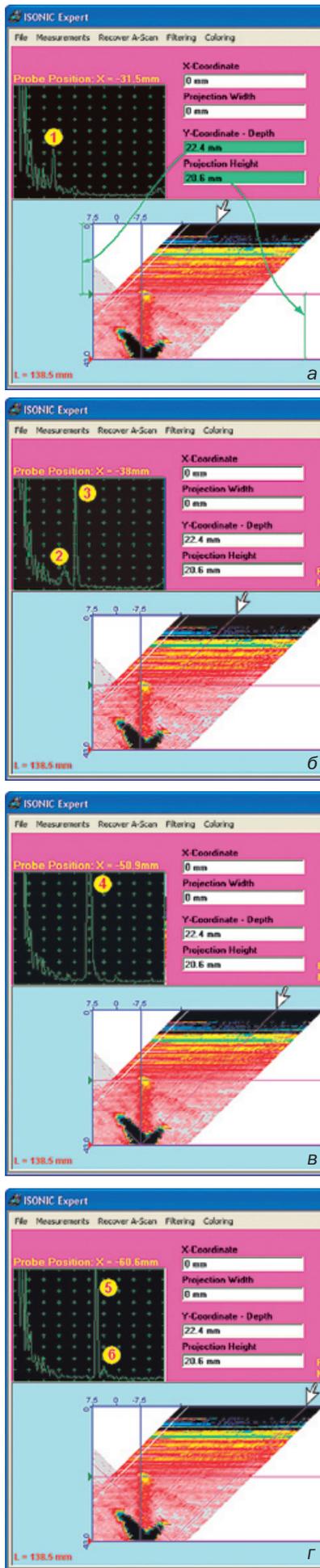
Рис. 5. Результаты контроля сварного шва с обработанным валиком усиления

Измерения в поперечном сечении шва показывают, что глубина залегания вершины трещины и ее высота составляют соответственно 22,4 и 20,6 мм (рис. 6а). Данные металлографического анализа после изъятия объекта из эксплуатации показали совпадение с полученными результатами с точностью 0,4 мм.

Выводы

1. Оснащение ультразвуковых дефектоскопов, визуализирующих дефекты в процессе сканирования, функциями регистрации первичной информации (А-скан-реализаций) в полном объеме в необработанном виде и реконструкции процесса сканирования на этапе анализа результатов контроля обеспечивает реальную возможность интерпретации результатов различными экспертами независимо друг от друга и от алгоритма визуализации дефектов, реализуемого в том или ином приборе, без повторного сканирования объекта.
2. Использование названных функций значительно повышает уровень объективности ультразвуковых дефектоскопов, регистрирующих результаты сканирования.
3. Дополнительным преимуществом при регистрации и сохранении первичной информации в полном объеме в необработанном виде является сочетание относительно высокой скорости контроля, достигаемой за счет разумного увеличения шага построчного сканирования, с точностью распознавания и восстанов-

Рис. 6 (справа). Восстановление последовательности эхо-сигналов при перемещении преобразователя в плоскости поперечного сечения сварного шва с усталостной трещиной



ления изображений дефектов и их оценки на этапе анализа результатов.

Источники информации

1. Гурвич А. К., Пасси Г. С. Объективизация результатов ультразвукового контроля сварных швов. – Дефектоскопия. 1987. № 6. С. 3–12.
2. Passi G., Kritsky M., Shoef Y. High-Reliability Manual Ultrasonic Inspection. – Insight. 1999. V. 41. No. 4. P. 217, 225–231.
3. Пасси Г. Современная аппаратура для УЗК металлоконструкций. – В мире НК. 2003. № 4(22). С. 43–49.
4. Бадалян В. Г., Вопилкин А. Х. Мониторинг сварных соединений трубопроводов с использованием систем автоматизированного УЗК с когерентной обработкой данных. – В мире НК. 2004. № 4(26). С. 22–27.
5. Moshkovich V., Passi A., Passi G., Safin R. Recent advances in the ultrasonic inspection recording and reporting - instrumentation: Part 2. Straight beam inspection and imaging. - The e-Journal of Nondestructive Testing. 2003. V. 8, No. 11 – <http://www.ndt.net/article/v08n11/passi2/passi2.htm>
6. Moshkovich V., Passi A., Passi G. The same: Part 1. Simplified rapid imaging of the separate sections of the test objects - classification of the B-scans. – Ibid. No. 9 – <http://www.ndt.net/article/v08n09/passi/passi.htm>
7. Passi G. ISONIC Operating Manual Revision 8_00 – published by Sonotron NDT at Nov 17, 2004. – 529 p. (см. также <http://www.sonotronndt.com/pdf/opman80.pdf>).
8. P-Scan News / Newsletter of Force Technology. No. 1. October 2003. – 4 p. (см. также http://www.force.dk/pdf/pscan_news_20_10.pdf).
9. Innovation in NDT. The Perfect Fit: People Technologies, Solutions. – Pamphlet of RD Tech. 2004. Sept. 1. – 15 p. (см. также http://www.rd-tech.com/PDF/The_Perfect_Fit_1104C_Web.pdf).
10. Adams L. NDT Supplement Feature: Ultrasonic Expands Capabilities. – Quality Magazine. 2004. – http://www.qualitymag.com/CDA/Article/Information/features/BNP_Features_Item/0,6425,131854,00.html
11. Ultrasonic Examination Methods for Welds / ASME Boiler and Pressure Vessel Code. Sect. VIII, Article 4, 2002.
12. Non-Destructive Testing – Ultrasonic Examination – Part 5: Characterization and Sizing of Discontinuities. – British and European Standard BS EN 583-5:2001.
13. Non-Destructive Examination of Welded Joints – Ultrasonic Examination of Welded Joints. – British and European Standard BS EN 1714:1998.
14. Non-Destructive Examination of Welds – Ultrasonic Examination – Characterization of Indications in Welds. – British and European Standard BS EN 1713:1998.
15. Calibration and Setting-Up of the Ultrasonic Time of Flight Diffraction (TOFD) Technique for the Detection, Location and Sizing of Flaws. – British Standard BS 7706:1993.
16. WI 00121377, Welding – Use Of Time-Of-Flight Diffraction Technique (TOFD) For Testing Of Welds. – European Committee for Standardization – Document # CEN/TC 121/SC 5/WG 2 N 146. 2003. – 34 p.
17. Use of Ultrasonic Examination in Lieu of Radiography. – ASME Case 2235-4, Approval date Nov 30, 2001.
18. Passi A., Passi G., Eitan A. Method of displaying a stream of digital data on a display area of a predetermined size / Pat. 6545681 (USA), Published, Apr 8, 2003.
19. Passi A., Passi G. Method and apparatus for ultrasonic data acquisition and transfer in real-time - International Application Published Under PCT (#W00238030 - May, 16, 2002). – 33 p.

Статья получена 18 февраля 2005 г.