

Способы оценки качества изображений для TOFD и ФР-технологий



**Нардони
Джузеппе**

Президент I & T Nardoni Institute (Брешиа-Фольцано, Италия), специализирующегося на исследованиях, образовании и услугах в области НК. В 1979 г. был одним из организаторов Итальянского общества НК. Экспрезидент EFNDT и ICNDT. Президент Международной академии НК. С 1969 по 2011 гг. представил 48 докладов на национальных и международных конференциях по НК.

Сотрудники I & T Nardoni Institute, Брешиа-Фольцано, Италия

**Нардони
Пьетро**

Технический специалист, III уровень согласно EN473/ISO9712 по УЗК и УЗК (TOFD и ФР), II уровень согласно EN473/AST-TC1A/ISO9712 по MT, RT, RT.

**Нардони
Диего**

Технический специалист по УЗК с использованием C-B технологий, TOFD и направленных (guided) волн, III уровень согласно EN473/ISO9712 по УЗК.

**Ферольди
Марко**

Дефектоскопист-оператор, III уровень согласно ISO9712 по УЗК и УЗК (TOFD и ФР).

Введение

Ультразвуковой контроль с использованием метода TOFD и преобразователей на фазированных решетках (ФР) используется для получения максимальной достоверности оценки размеров выявленных отражателей. Основой такой оценки является качество изображений, зависящее от грамотных настроек оборудования.

Как в радиографическом контроле, где плотность является базовым параметром при оценке качества изображения, в современном компьютеризованном УЗК качество получаемого изображения является важной характеристикой системы контроля.

В статье рассматриваются две основные технологии УЗК: TOFD и ФР применительно к контролю сварки.

TOFD-технология

Метод TOFD основывается на анализе дифракционных эффектов. Записываемые в недетектированном виде сигналы визуализируются на TOFD-дефектограммах с использованием градаций серого цвета, отвечающих разной интенсивности ультразвуковых волн (А-сканы).

На рис. 1 приведён типичный А-скан при контроле методом TOFD,

а на рис. 2 — пример *D*-скана с выявленными порами и протяженным непроваром.

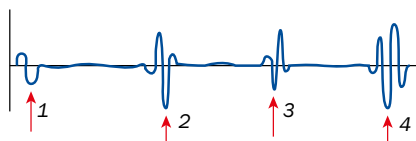


Рис. 1. Типичный недектированный сигнал (А-скан) при использовании метода TOFD: 1 — продольная (lateral) волна; 2 — дифрагированный сигнал от верхнего края трещины; 3 — дифрагированный сигнал от нижнего края трещины; 4 — донный сигнал

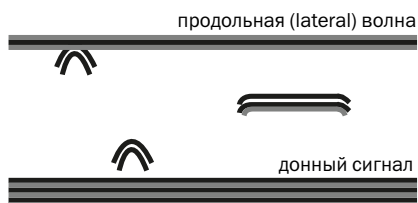


Рис. 2. *D*-скан (сканирование по нормали к направлению ультразвукового луча) для поры и протяженного дефекта

Квалификационный тест для TOFD-технологии

Для оценки качества изображений отражателей, расположенных на разных глубинах, был подготовлен образец сварного шва толщиной 60 мм с выполненными пропилами и боковыми сверлениями.

На рис. 3 представлены образец с искусственными отражателями и специальный сканер для выполнения контроля методом TOFD. Механика сканера позволяет автоматически выполнять *D*-сканирование (пара преобразователей перемещается нормально к ультразвуковому лучу) и *B*-сканирование (перемещение в направлении ультразвукового луча).



Рис. 3. Калибровочный блок (а) и специальный сканер для TOFD (б)

Далее приведены варианты сканирования образца с моделями дефектов при различных раздвижках (рис. 4, 5) и классификация качества дефектограмм (рис. 6, табл. 1).

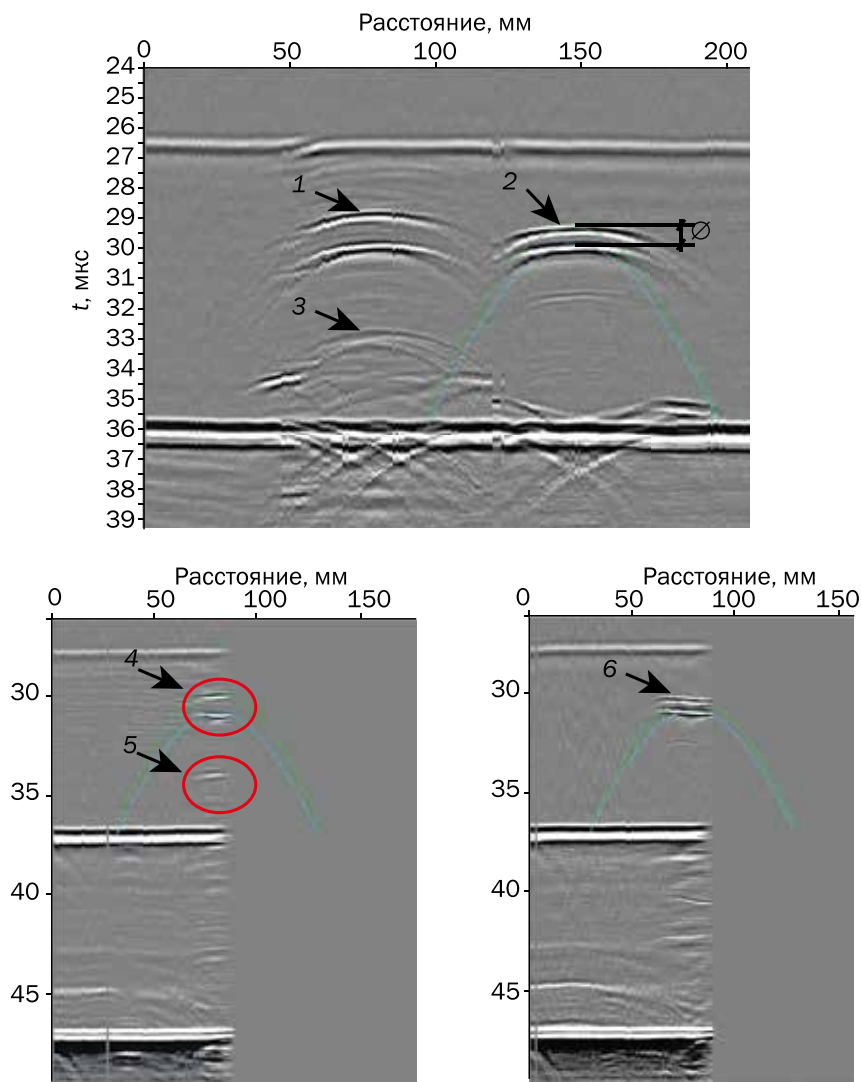


Рис. 4. Дефектограмма при толщине свариваемых элементов 60 мм, угол ввода 60°, $\varnothing$ 12 мм, частота 5 МГц, раздвижка 100 мм: 1 — пропил № 1, качество изображения: класс 1, соответствует; 2 — отверстие $\varnothing$ 3 мм вблизи поверхности ввода, качество изображения: класс 1, соответствует; 3 — пропил № 2, качество изображения: класс 3, не соответствует; 4 — пропил № 1, качество изображения: класс 1, соответствует; 5 — пропил № 2, качество изображения: класс 3, не соответствует; 6 — отверстие $\varnothing$ 3 мм вблизи поверхности ввода, качество изображения: класс 1, соответствует

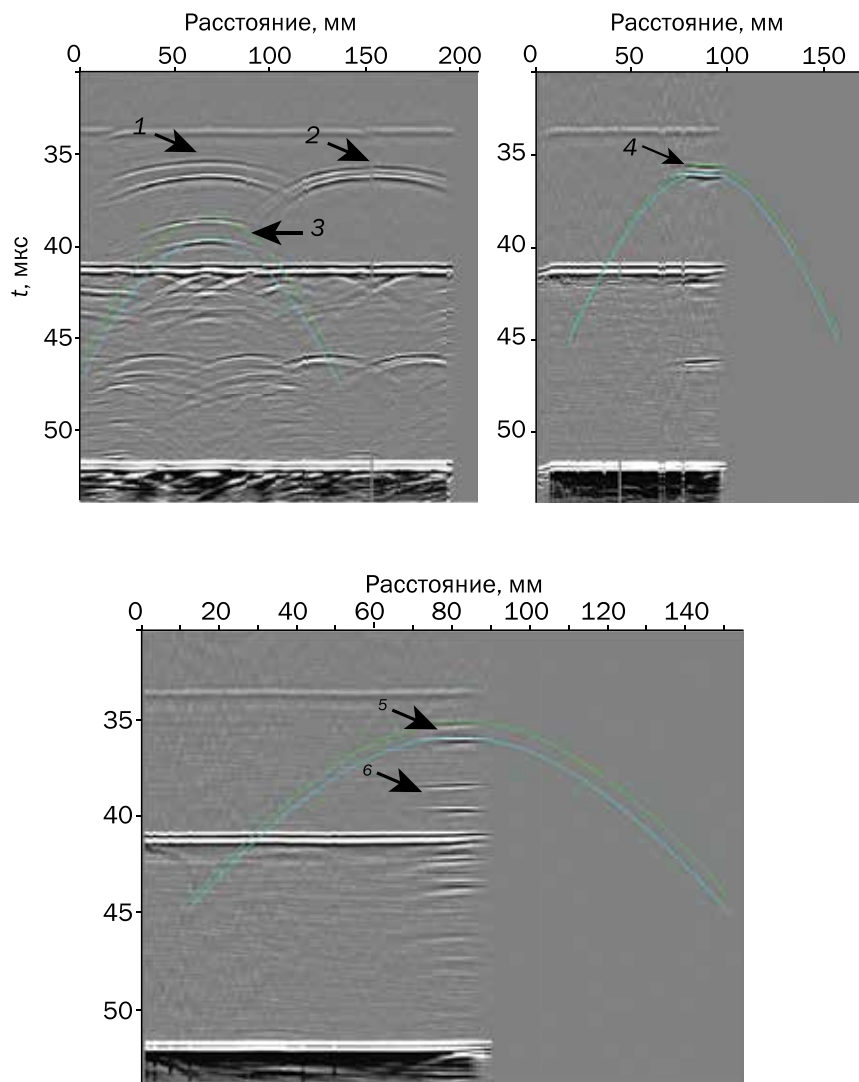


Рис. 5. Дефектограмма при толщине свариваемых элементов 60 мм, угол ввода 60°, Ø 12 мм, частота 5 МГц, раздвижка 140 мм: 1 — пропил № 1, качество изображения: класс 1, соответствует; 2 — отверстие Ø 3 мм вблизи поверхности ввода, качество изображения: класс 1, соответствует; 3 — пропил № 2, качество изображения: класс 1, соответствует; 4 — отверстие Ø 3 мм вблизи поверхности ввода, качество изображения: класс 1, соответствует; 5 — пропил № 1, качество изображения: класс 1, соответствует; 6 — пропил № 2, качество изображения: класс 3, не соответствует

Табл. 1. Классификация качества изображения TOFD-дефектограмм для четырёх зон по глубине при квалификационном тесте

№ пропила	ПЭП 70°, раздвижка 80 мм, частота 5 МГц, Ø 6 мм			ПЭП 52°, раздвижка 160 мм, частота 3,5 МГц, Ø 18 мм			ПЭП 45°, раздвижка 300 мм, частота 2,2 МГц, Ø 24 мм			ПЭП 35°, раздвижка 370 мм, частота 2,2 МГц, Ø 24 мм		
	высота, мм	глубина, мм	качество изображения	высота, мм	глубина, мм	качество изображения	высота, мм	глубина, мм	качество изображения	высота, мм	глубина, мм	качество изображения
1	4,5	6	н/в	–	–	3-С	–	–	н/в	–	–	н/в
2	3,9	30	н/в	5	30	2-В	–	–	3-С	–	–	н/в
3	–	–	н/в	4,2	60	1-А	5,2	60	2-С	–	–	н/в
4	–	–	н/в	–	–	н/в	4,8	90	1-А	–	–	н/в
5	–	–	н/в	–	–	н/в	3,8	120	1-А	–	–	н/в
6	–	–	н/в	–	–	н/в	4,1	150	1-А	–	–	3-С
7	–	–	н/в	–	–	н/в	4,3	180	2-В	5,2	180	2-В
8	–	–	н/в	–	–	н/в	–	–	3-С	4,5	210	2-В
9	–	–	н/в	–	–	н/в	–	–	н/в	4,2	240	1-А
10	–	–	н/в	–	–	н/в	–	–	н/в	4,0	270	1-А
11	–	–	н/в	–	–	н/в	–	–	н/в	3,2	294	1-В

Фазовый контраст	1: очень хорошо	2: хорошо	3: плохо (недостаточно)
Разрешение вершин отражателей	А: хорошо разрешение	В: слабое разрешение	С: неразличимо

Пример: наилучшее изображение 1-А
 Наихудшее изображение 3-С (недостаточная чувствительность)
 н/в: изображение пропила не видно

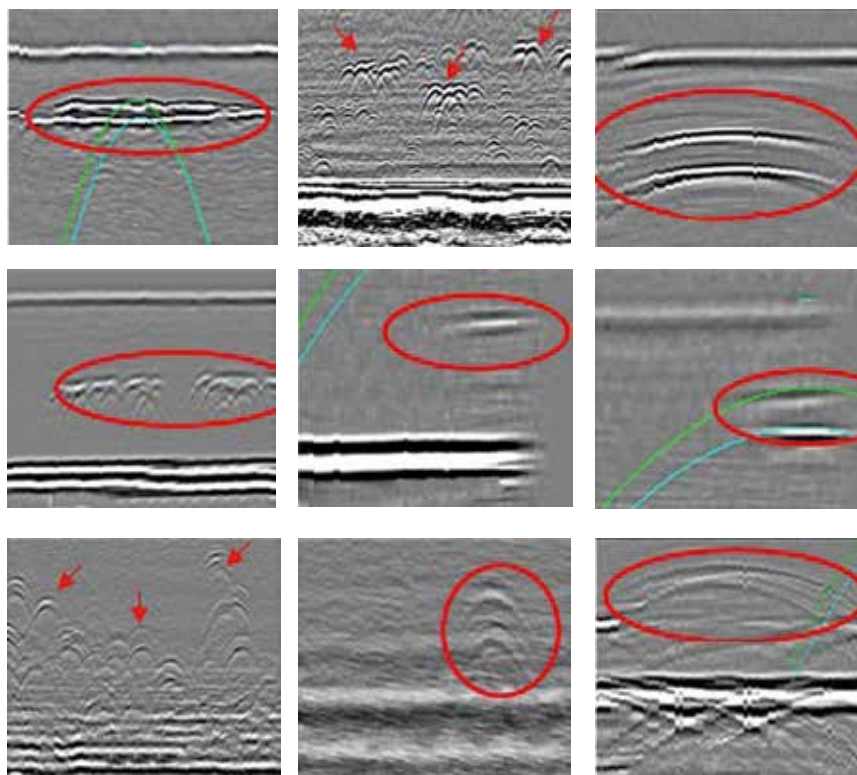


Рис. 6. Классификация качества TOFD-дефектограмм

ФР технология

При использовании ФР-технологии корректные настройки дефектоскопа так же важны, как и в методе TOFD.

На типичном С-скане обычно используются 4 цвета: красный, желтый, зеленый и синий. Пример С-скана для контроля с использованием ФР-преобразователей приведен на рис. 7.

Использование цветовой градации для визуализации полученных

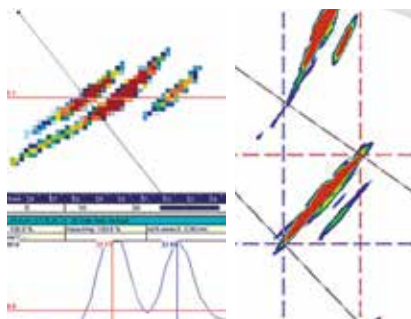


Рис. 7. Пример экранов дефектоскопа при контроле с ФР-преобразователями

сигналов имеет своим истоком эхо-динамические кривые (рис. 8), которые позволяют определять размеры дефектов при перемещении обычных ПЭП до тех пор, пока амплитуда не уменьшится вдвое (на — 6 дБ). В настоящее время коды стандарта ASME (секция V, Приложение VIII, параграф 410) предполагают использование неамплитудных методов контроля или данных разрушающего контроля.

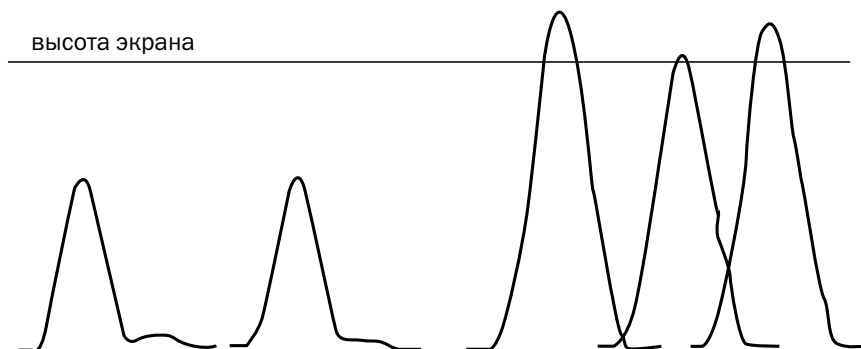


Рис. 8. Эхо-динамическая кривая при контроле обычными ПЭП

На рис. 9 и 10 представлены схема линейного ФР-преобразователя с 8-ю элементами и пример их последовательного возбуждения для получения плоского волнового фронта.

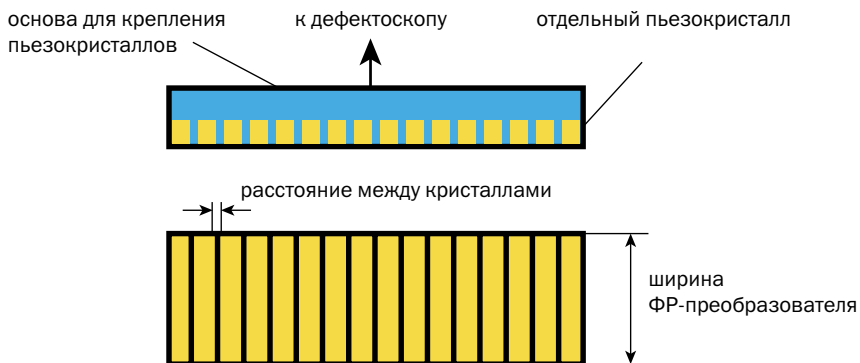


Рис. 9. Схема преобразователя с ФР

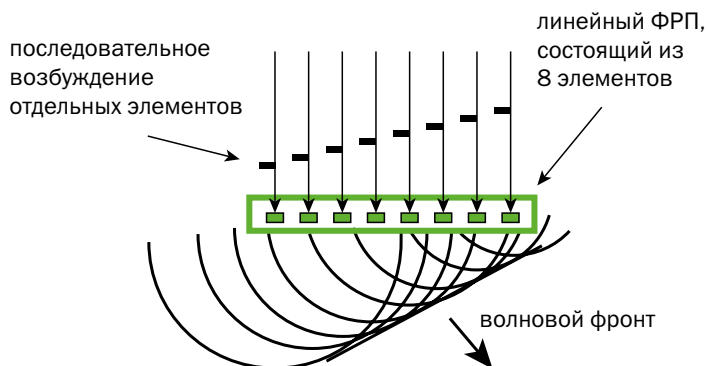


Рис. 10. Пример последовательного возбуждения элементов и создания плоского волнового фронта

Использование ФР позволяет строить эхо-динамические кривые без физического перемещения преобразователя, эффект качающегося луча создает электронное сканирование — возбуждение отдельных элементов преобразователя по определенному закону. Широко распространено секторальное сканирование, пример которого приведен на рис. 11.

При использовании DAC-кривых для корректного представления величин полученных сигналов на С-сканах все перечисленные выше цвета должны присутствовать. Предполагая, что браковочный уровень соответствует синему цвету, размер дефектов понятным образом определяется.

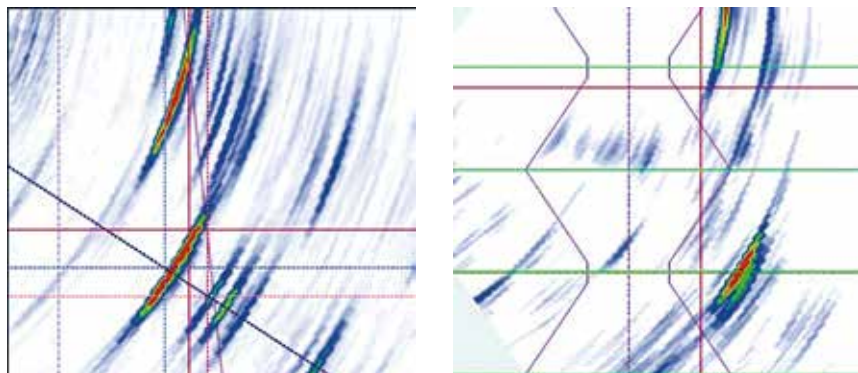
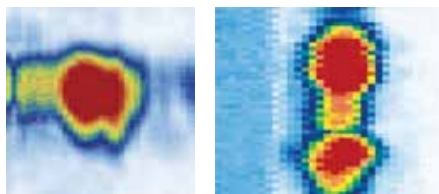


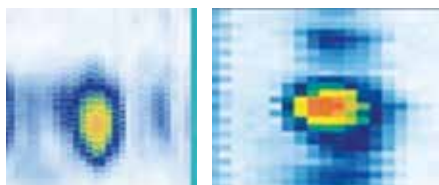
Рис. 11. Секторальное сканирование с применением ФР

На рис. 12 представлена классификация ФР-изображений в цветовой градации (ср. с рис. 6).

Класс 1: цвета: синий, зеленый, желтый, красный



Класс 2: цвета: синий, зеленый, желтый



Класс 3: цвета: синий, зеленый

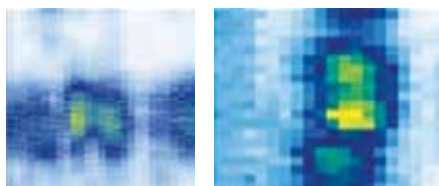


Рис. 12. Многоэлементное изображение при использовании ФР-преобразователей: цветовая классификация эхо-динамических кривых

Литература

1. A. Filosi-ATB RIVA Calzoni Spa Roncadelle (BS), G. Nardoni, P. Nardoni, — I&T NARDONI INSTITUTE, Folzano (BS) «IDN 94-Sizing and flaw characterization with TOFD technique in the examination of 360 mm SAW weld 2-1/4 Cr Mo Reactor. Evaluation of planar and volumetric flaw through TOFD and Pulse Echo technique» Conferenza Nazionale sulle Prove non Distruttive, 2005.
2. Nardoni G., Nardoni P. — I&T NARDONI INSTITUTE, Folzano (BS) «Accuracy Capability of TOFD Technique in Ultrasonic Examination of Welds», 15th World Conference on NonDestructive Testing, Rome, 2000.
3. Nardoni G., Certo M., Nardoni P. et al. — I&T NARDONI INSTITUTE, Folzano (BS) «Time of Flight Diffraction and Phased Array Techniques for the detection of small transversal in hydrocracking units welds in CrMoV steel», Material Evaluation, v. 69, No. 7, 2011.
4. Sharp R. S., «Research Techniques in Non Destructive Testing», v. IV, 1980.
5. Croker M. J. «Encyclopedia of Acoustics», v. 1, 1997.
6. ASME Code Sec. V, art. 4, Code Cases 2235.9. Use of Ultrasonic Examination in Lieu of Radiography.
7. R/D Tech, «Introduction to Phased Array ultrasonic Technology Application: R/D Tech Guideline» Quebec City, Canada, 2004