

Контроль сварных швов нержавеющей сталей ультразвуковым томографом с фазированными решетками Omniscan

Сотрудники ОАО «НИИхиммаш», г. Москва



**Бобров
Виктор
Александрович**

Начальник
Центральной
лаборатории
физических ме-
тодов исследо-
вания, контроля
и диагностики,
руководитель
Независимо-
го органа по
аттестации
персонала и ла-
бораторий НК,
к. т. н., специа-
лист III уровня
по 6 методам НК.



**Волокитин
Виктор
Васильевич**

Инженер ЦЛФ-
МИКиД, специа-
лист III уровня по
УЗК, РК, ВК, ПВК,
II уровня по ВИК
и МК.

**Параев
Сергей
Андреевич**

Старший науч-
ный сотрудник
ЦЛФМИКиД,
к. т. н., специа-
лист III уровня
по ВИК и МК,
II уровня по УЗК,
РК, ВК, ПВК.

Сотрудники ЗАО «Панатест ЭнДиТи»,
г. Москва

**Семеренко
Алексей
Владимирович**

Исполнительный
директор, специалист
III уровня по акусти-
ческому виду НК.

**Пепеляев
Андрей
Валентинович**

Ведущий специа-
лист, III уровень
по акустическому
виду НК.

Нержавеющие и двухслойные ста-
ли находят широкое примене-
ние в химической, нефтехимической
и других отраслях промышленности.
УЗК сварных соединений этих матери-
алов затруднен из-за высокого уровня
структурных помех и затухания ульт-
развука.

В головной научно-исследова-
тельской организации отрасли —
ОАО «НИИхиммаш» — постоянно
ведутся работы по разработке и вне-
дрению новых методик и приборов
НК. Одним из самых перспективных
направлений является применение
портативных ультразвуковых томо-
графов с многоэлементными прео-
бразователями типа «фазированная
решетка» (ФР).

В настоящей работе даны краткие
сведения по ультразвуковой томогра-
фии и представлены результаты экс-
периментальных исследований свар-
ных швов нержавеющей сталей, про-
веденных томографом «OmniScan»
(рис. 1). Прибор разработан и произ-
водится компанией «Olympus NDT»
(Япония — Канада), зарегистри-
рован в Государственном реестре
средств измерений и применяется



Рис. 1. Ультразвуковые томографы «OmniScan MX2» и «OmniScan MX»

в России с 2005 г. Также проведено сравнение возможностей томографа «OmniScan» и ультразвукового дефектоскопа УИУ «Сканер+» производства ООО «Алтеc» (Россия).

Томография как исследование внутренней структуры объекта по слоям уже несколько десятков лет используется в технике и в медицине. Но ее широкое применение в производстве и эксплуатации различных объектов началось лишь в последние годы, когда удалось создать надежные портативные системы, пригодные для работы в полевых и других сложных условиях.

В томографических системах обычно применяют ФР — компактно расположенный массив пьезоэлементов с общим полем излучения-приема ультразвука. При этом, программно изменяя характеристики для отдельных элементов, можно с высоким быстродействием реализовать нужные параметры контроля. Например, изменяя задержки при излучении

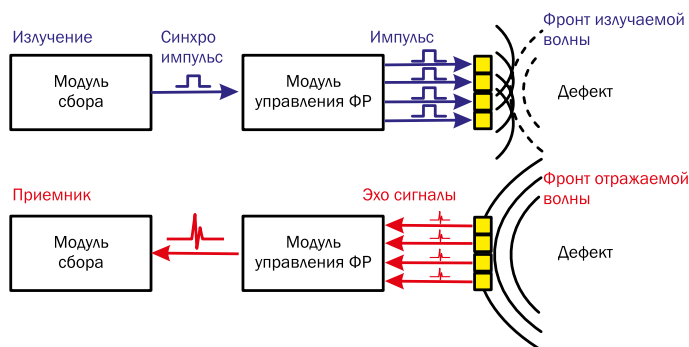


Рис. 2. Схема управления излучением-приемом ФР

и приеме сигналов, можно управлять типом волн, вводимых в объект контроля, их углом ввода и фокусировкой в заданной точке (рис. 2).

Одна из основных целей применения ФР — более надежное выявление дефектов различных типов, форм и ориентаций. Для этого, как правило, необходимо проводить контроль объекта с разными углами ввода ультразвука.

В обычных пьезоэлектрических преобразователях (ПЭП) угол ввода задается конструктивно, поэтому для его изменения нужно использовать разные преобразователи и проводить повторный контроль. А с помощью одной ФР можно практически одновременно генерировать лучи под различными углами, нужными для надежного выявления дефектов.

Пример контроля сварного шва с помощью ФР представлен на рис. 3.

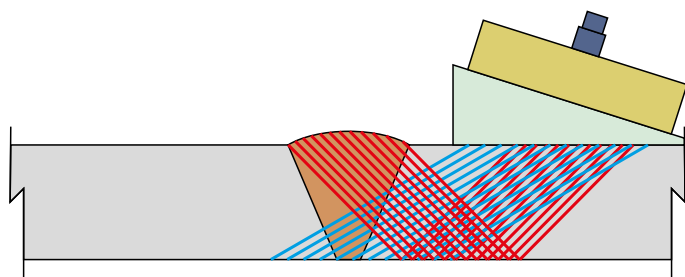


Рис. 3. Схемы контроля сварного шва с помощью ФР

Сечение сварного шва может прозвучиваться одновременно с двумя фиксированными углами ввода (линейное сканирование — способ «бегающего луча»), а также с изменением угла в заданном диапазоне (секторное сканирование — способ «качающегося луча»).

Другая важная цель применения ФР — повысить производительность контроля. При проверке сечения сварного шва обычным ПЭП нужно выполнить его поперечное перемещение относительно продольной оси шва. И при контроле значительное время уходит именно на этот вид перемещений (рис. 4).

При использовании ФР сечение сварного шва проверяется за счет электронного сканирования. Оно проводится с большой скоростью (тактовая частота переключения между лучами до 10 кГц) и высоким пространственным разрешением (расстояние между соседними лучами до 0,1 мм). При этом ФР перемещается вдоль продольной оси шва

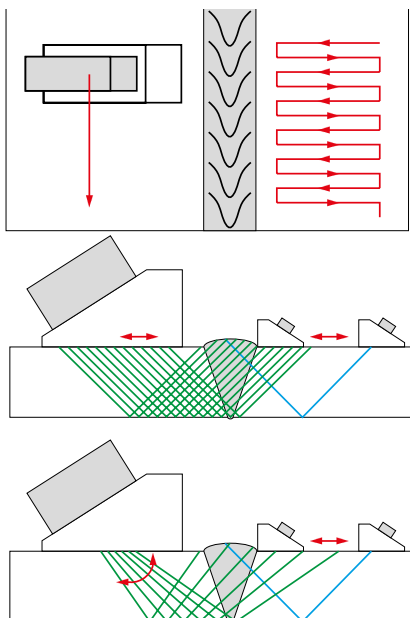


Рис. 4. Схемы сканирования сварного шва с помощью ФР и ПЭП

без поперечных перемещений, что позволяет повысить производительность контроля по сравнению с обычными средствами УЗК в 5–10 раз и более.

На практике часто применяют ФР с рабочей частотой 2,25 МГц, минимальной стрелой 3 мм и следующими характеристиками: для линейного сканирования — 64 элемента, апертура 48×12 мм; для секторного сканирования — 16 элементов, апертура 12×12 мм. Для таких ФР при двустороннем контроле сварных швов прямым и однократно отраженным лучом сканирование без поперечных перемещений возможно до толщины 70 мм. Для данных толщин применяют комбинации линейного сканирования с разными углами ввода

(например, 65 и 50°) и секторного сканирования с изменением угла ввода в диапазоне 35–70° (75°).

При контроле больших толщин без поперечных перемещений (за один сканирующий проход вдоль сварного шва) могут применяться ФР с увеличенной длиной апертуры (до 128 мм) либо несколько ФР, установленных для прозвучивания определенных зон по толщине шва. Томограф «OmniScan» в комплекте со сканером позволяет одновременно использовать до 8 ФР с общим числом элементов до 128.

Для лучшей выявляемости дефектов применяются методы с разделением излучающих и принимающих элементов ФР, в частности, зеркальный эхо-метод, способ «тандем». Одновременно с другими можно использовать дифракционно-временной метод (TOFD), который томограф «OmniScan» программно и аппаратно поддерживает.

Применение ФР в режиме линейного сканирования может привести к некоторому ужесточению требований по волнистости поверхности объекта контроля относительно одноэлементных ПЭП. Зазор между

рабочей поверхностью призмы с ФР и поверхностью объекта контроля при контактном (щелевом) способе ввода ультразвука как правило не должен превышать 0,5 мм [4]. Поскольку длина призм, наиболее часто применяемых для линейного сканирования, равна 68,5 мм, то волнистость поверхности в данном случае должна быть не более 0,007 (против 0,015 для одноэлементных ПЭП, см., напр., [3]).

Если используется только секторное сканирование, то размеры контактной площадки ФР как правило, близки к размерам одноэлементного ПЭП. Например, часто применяемая 16-элементная ФР со сменной призмой имеет размер контактной площадки 23 × 23 мм. Поэтому требования по состоянию поверхности для данных ФР и ПЭП остаются одинаковыми.

Важно отметить, что применение ФР в режиме секторного сканирования позволяет с относительно небольшой контактной площадки прозвучивать значительный объем контролируемого объекта. Тем самым повышается контроледоступность, уменьшается ширина зоны зачистки, сокращается трудоемкость подготовки объектов к контролю.

Основное преимущество ультразвукового томографа «OmniScan» по сравнению с обычными средствами УЗК — это трехмерная визуализация и полное документирование результатов контроля.

В обычных дефектоскопах результаты представляются в виде так называемого А-скана — развертки сигнала по координатам «время прихода — амплитуда». Этот А-скан отображается только по одному ультразвуковому лучу и не дает достаточно наглядного представления о пространственном положении дефектов в объекте контроля. При использовании томографа идет сбор и обработка массива А-сканов по всем ультразвуковым лучам, генерируемым в процессе электронного и механического сканирования. При этом в реальном времени (в процессе сканирования) отображается трехмерная структура объекта контроля с выявленными дефектами.

Обычно применяют комбинацию трех взаимно перпендикулярных видов или сечений, показанных на рис. 5: вид сверху (С-скан); вид с торца (В-скан); вид сбоку (D-скан).

Одной из особенностей томографа «OmniScan» является сохранение при сканировании всех исходных А-сканов (используется сменная карта памяти емкостью до 16 Гб и более). Это позволяет разделить во времени сбор и обработку данных, что весьма актуально при проведении контроля во вредных и опасных условиях.

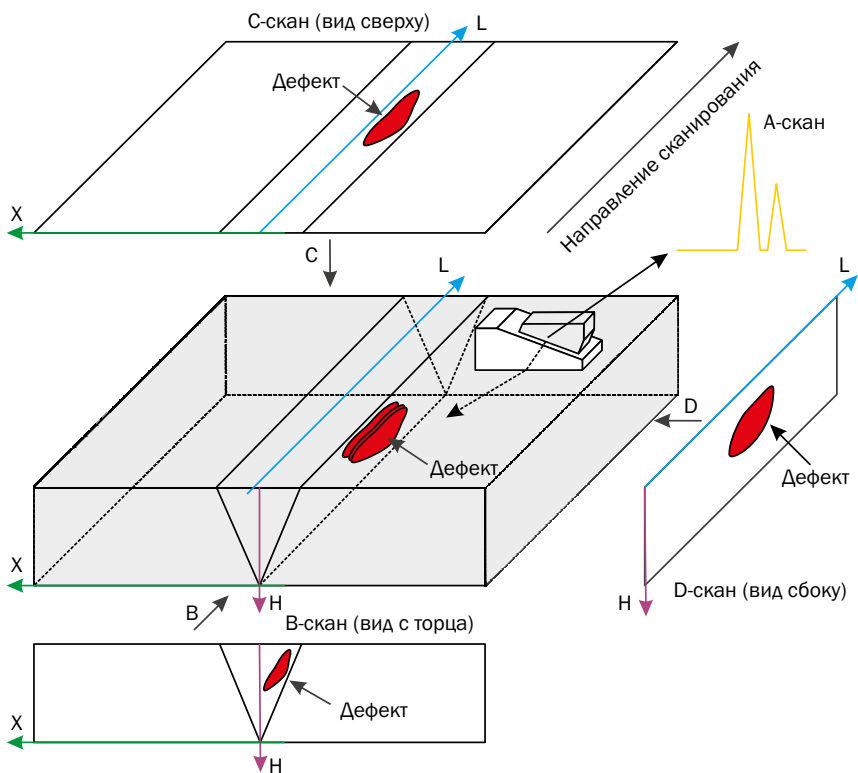


Рис. 5. Типы сканов при контроле сварного шва

Важно отметить, что С-скан (как вид с проекционным отображением дефектов) является аналогом радиографического снимка. Но, в отличие от радиографии, другие типы ультразвуковых сканов показывают также положение дефекта по глубине.

Кроме того, по сравнению с радиографическими снимками ультразвуковые сканы часто проще для анализа и выявления недопустимых дефектов. Например, зоны дефектов с амплитудой сигнала выше браковочного уровня автоматически выделяются на них красным цветом. Оператору достаточно установить на экране прибора специальные маркеры по границам дефекта. После этого томограф сам определит характеристики и трехмерные координаты дефекта и внесет их в таблицу. Затем на основе таблицы дефектов и полученных сканов томограф формирует отчет с полными результатами контроля.

Экспериментальные исследования с использованием томографа «OmniScan» были выполнены в 3 этапа. Применялся импульсный эхо-метод, поперечные волны, 64-элементные линейные ФР с рабочей частотой 2,25 МГц, апертурой 48×12 мм, минимальной стрелой 3 мм при угле ввода 70° .

На I этапе исследований томографом «OmniScan» проведен контроль стандартных образцов предприятия (СОП) толщиной от 4 до 20 мм, изготовленных ОАО «НИИхиммаш» в соответствии с действующей НТД [2]. Образцы представляют собой пластины со стыковым сварным швом, в котором на продольной осевой линии шва выполнен искусственный отражатель (ИО) типа «сегмент». Материал образцов — сталь 12X18H10T.

Полученные результаты показали, что при контроле сварных швов нержавеющей сталей томограф с ФР обеспечивает требуемую предельную чувствительность. Все искусственные отражатели площадью от $2,0 \text{ мм}^2$ были надежно выявлены, при этом амплитуда полезного сигнала превысила уровень структурных и других шумов не менее чем на 8 дБ.

На II этапе исследований томографом «OmniScan» на объектах из стали типа X18H10 выполнен контроль сварных швов с толщиной стенки 4, 6, 8 и 10 мм и естественными дефектами. На части швов усиление было удалено, на остальных его ширина со стороны поверхности контроля составляла до 20 мм (при толщине стенки 10 мм). Для двухстороннего контроля сварного шва применялся сканер, имеющий датчик пути с разрешением 0,08 мм (рис. 6).



Рис. 6. Сканер для контроля сварных швов с помощью ФР

На каждой ФР было реализовано 2 типа электронного сканирования — линейное с постоянным углом ввода 63° и секторное с переменным углом ввода в диапазоне $40\text{--}70^\circ$.

Контроль проводился в соответствии с НТД [2], в т. ч. настройка предельной чувствительности (браковочного уровня) была выполнена по ИО типа «сегмент» в СОП. В отличие от одноэлементного ПЭП, в ФР при электронном

сканировании изменяются такие параметры, как эффективный размер излучателя-приемника, длина пути ультразвука в призме и в объекте контроля, коэффициент прохождения ультразвука через границу призма — объект. Поэтому с помощью функций автоматической калибровки ПО «OmniScan» по образцам СО-2А, СО-3А и СОП из контролируемого материала было выполнено выравнивание чувствительности с учетом указанных выше факторов. Это обеспечило нормативный и одинаковый уровень чувствительности по всем лучам электронного сканирования, реализуемого посредством ФР.

При контроле с помощью сканера осуществлялось непрерывное продольное сканирование сварного шва, при этом с шагом вдоль шва не менее 2 мм в поперечных сечениях проводилось электронное сканирование. При сканировании результаты контроля в реальном времени отображались на экране томографа в виде А-, В- и С-сканов по каждой ФР и по каждому типу электронного сканирования. По окончании сканирования результаты контроля полностью сохранялись на электронном носителе томографа, включая массив исходных А-сканов по всем точкам ввода.

Далее с помощью специализированного ПО «TomoView» полученные данные по всем ФР и типам электронно-механического сканирования объединялись (путем определения максимальной амплитуды сигнала в каждом элементе контролируемого объема), результаты контроля документировались в виде томограмм и обобщенных таблиц дефектов. Пример томографических сканов стыкового сварного шва толщиной 10 × 10 мм приведен на рис. 7 (типы сканов указаны в соответствии с рис. 5).

На сканах путем цветокодировки показано распределение амплитуд эхо-сигналов в контролируемом объеме сварного шва. При этом использована шкала из 256 оттенков с изменением главного цвета в последовательности «белый — синий — желтый — красный» по мере роста амплитуды. Например, дефекты с амплитудой сигнала выше браковочного уровня показаны в виде индикаций красного цвета.

При анализе результатов контроля индикации дефектов на сканах выделяются специальным маркером в виде объемной рамки. После выделения рамкой дефекта на С-скане в точку с максимальной амплитудой сигнала автоматически устанавливаются линейные маркеры по длине и ширине шва. По отмеченным маркерами участкам шва отображаются

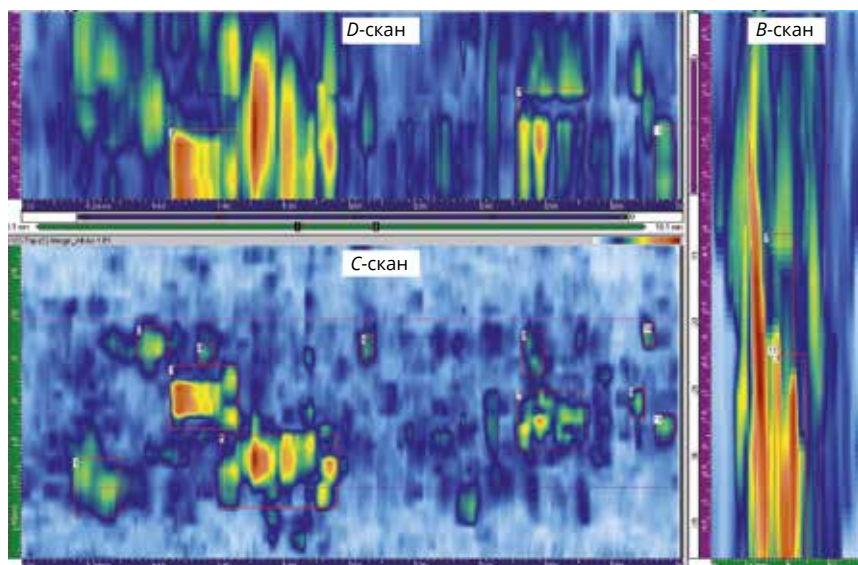


Рис. 7. Томографические сканы сварного шва с дефектами

сечения — *B*- и *D*-сканы (см. рис. 7). При необходимости можно использовать *B*- и *D*-сканы не как сечения, а как виды — с наложением всех дефектов, выявленных на заданном участке сварного шва.

После выделения дефекта рамкой автоматически определяются его характеристики в соответствии с основными нормативными требованиями: максимальная амплитуда сигнала, координаты дефекта при максимальной амплитуде сигнала, координаты начала и окончания дефекта, его условные размеры по трехкоординатным осям на заданном уровне амплитуды и другие. Полученные данные вносятся в таблицу дефектов также автоматически. Для сварного шва, сканы которого показаны на рис. 7, характеристики и координаты обнаруженных дефектов приведены в табл. 1. На сканах выделен дефект № 5, имеющий максимальную амплитуду сигнала.

Всего на контрольном участке длиной 200 мм и обнаружено 11 отражателей, классифицированных в соответствии с НТД [2] как дефекты, 3 из 11 выявленных дефектов являются недопустимыми.

На III этапе исследований проведено сравнение результатов контроля сварных швов нержавеющей стали, полученных с помощью томографа с ФР «OmniScan» и УИУ «Сканер+» (рис. 8, табл. 2). УИУ «Сканер+»

Табл. 1. Характеристики и координаты дефектов сварного шва:

$A_{\max}$ — максимальная амплитуда сигнала от дефекта, дБ; $L_{\max}$ — координата дефекта вдоль продольной оси шва от заданного начала отсчета при максимальной амплитуде сигнала, мм; $H_{\max}$ — глубина залегания дефекта от поверхности ввода при максимальной амплитуде сигнала, мм; $X_{\max}$ — координата дефекта по ширине шва от продольной оси шва до проекции дефекта на поверхность ввода при максимальной амплитуде сигнала, мм; L_1 — координата начала дефекта вдоль продольной оси шва от заданного начала отсчета на уровне фиксации, мм; L_2 — координата окончания дефекта вдоль продольной оси шва от заданного начала отсчета на уровне фиксации, мм; $\Delta L_{\text{усл}}$ — условная протяженность дефекта, измеренная на уровне фиксации, мм; $\Delta H_{\text{усл}}$ — условная высота дефекта, измеренная на уровне фиксации, мм; $\Delta X_{\text{усл}}$ — условная ширина дефекта, измеренная на уровне фиксации, мм

№ п/п	Прибор	$A_{\max}$, дБ	$L_{\max}$, мм	$H_{\max}$, мм	$X_{\max}$, мм	L_1 , мм	L_2 , мм	$L_{\text{усл}}$, мм	$H_{\text{усл}}$, мм	$X_{\text{усл}}$, мм
1	OmniScan	0,8	120,3	5,5	-7,3	116	130	14	1,2	2,3
2	—	2,4	141,1	4,5	7,0	134	144	10	3,3	2,0
3	—	7,0	147,7	7,7	1,8	144	166	22	3,5	6,8
4	—	0,8	157,3	0,9	6,6	154	158	4	1,2	1,5
5	—	7,8	171,0	6,0	-7,1	160	196	36	8,1	9,2
6	—	0,1	205,5	5,7	6,7	204	206	2	1,7	1,9
7	—	6,1	258,4	6,7	-1,9	250	272	22	5,1	3,7
8	—	0,8	257,4	4,1	5,3	254	260	6	1,3	1,1
9	—	1,5	288,1	4,3	0,2	286	290	4	1,2	2,5
10	—	0,4	291,6	5,1	8,4	290	292	2	1,8	1,2
11	—	1,0	297,7	9,1	-3,1	292	298	6	1,7	2,0

Примечание:

Условные размеры дефектов определены согласно ГОСТ 14782 [1] как размеры индикаций по соответствующим координатным осям при амплитуде сигнала от дефекта на уровне фиксации 0 дБ; 6 дБ — браковочный уровень амплитуды, соответствует амплитуде сигнала от ИО в СОП

Табл. 2. Основные технические характеристики томографа «OmniScan» и УИУ «Сканер+»

Характеристика	Томограф «OmniScan»	УИУ «Сканер+»
Количество каналов	128	8
Количество схем прозвучивания	256	16
Регулировка усиления	74 дБ с дискретностью 0,1 дБ (в режиме ФР)	85 дБ с дискретностью 1 дБ
Частотный диапазон, МГц	0,75–18,0 (по уровню -3 дБ, в режиме ФР)	1,0–10,0
Максимальная глубина прозвучивания (продольные волны, сталь), мм	59800	10000
Количество стробов	3	2
Количество точек ВРЧ	16	8
Наличие режимов дефектоскопа и толщиномера	Есть	Есть
Типы сканов для отображения и документирования данных	<i>A, B, B-RT*, C, D, D-TOFD</i> с возможностью одновременного отображения и документирования	<i>A</i> или <i>D</i>
Время непрерывной работы от аккумуляторов, ч	8	8
Габаритные размеры, мм	321 × 209 × 130	200 × 225 × 90
Вес с аккумулятором, кг	4,6	3,5

* *B*-скан, отображающий ход ультразвуковых лучей и выявленные дефекты с учетом отражений от поверхностей объекта контроля, а также с наложением границ сварного шва.



Рис. 8. УИУ «Сканер+» и томограф «OmniScan»

применялся с одноэлементным ПЭП П1212,5 70S с рабочей частотой 2,5 МГц, углом ввода поперечных волн 70° (по углеродистой стали), стрелой 11 мм, размером контактной поверхности 22×15 мм.

Сравнение томографа «OmniScan» и УИУ «Сканер+» проводилось при контроле сварных швов толщиной от 4 до 20 мм, упомянутых в разделах по I и II этапам исследований. Применялись схемы контроля прямым, однократно и многократно отраженным лучом в зависимости от контролируемой толщины и ширины усиления сварного шва. Расстояние от продольной оси шва до передней грани ФР и ПЭП при сканировании выбиралось минимальным — с целью прозвучить как можно больший объем шва с наименьшим числом отражений.

Например, контроль стыкового шва толщиной 10×10 мм с максимальной шириной усиления на поверхности ввода 20 мм проводился томографом «OmniScan» и ФР с двух сторон, прямым и однократно отраженным лучом в режиме линейного сканирования с постоянным углом ввода 63° и одновременно в режиме секторного сканирования с переменным углом ввода $40\text{--}70^\circ$. Расстояние от продольной оси шва до передней грани ФР составляло 11 мм, при этом обеспечивался контроль всего сечения шва без поперечных перемещений ФР.

Контроль того же шва УИУ «Сканер+» и одноэлементным ПЭП проводился также с двух сторон, прямым и однократно отраженным лучом с фактическим углом ввода 63° по нержавеющей стали. Минимальное расстояние от продольной оси шва до передней грани ПЭП при крайних положениях ПЭП равнялось 10 мм.

Табл. 3. Сравнительные результаты контроля сварных швов

Тип, толщина сварного шва	Тип дефектов	Минимальная эквивалентная площадь фиксируемых дефектов, мм ²	Количество выявленных дефектов, %		Время контроля 1 м сварного шва с двух сторон		
			«OmniScan»	«Сканер+»	«Сканер+», t ₁ , с	«OmniScan», t ₂ , с	t ₁ /t ₂
Стыковой, 4 мм	Искусственные	1,0	100	100	19	10	1,9
	Естественные		100	100			
Стыковой, 6 мм	Искусственные	1,0	100	100	50	10	5,0
	Естественные		100	100			
Стыковой, 8 мм	Искусственные	1,5	100	100	82	10	8,2
	Естественные		100	87			
Стыковой, 10 мм	Искусственные	1,5	100	100	113	10	11,3
	Естественные		100	75			
Стыковой, 20 мм	Искусственные	2,5	100	100	270	10	27,0

Примечания

1. Контроль сварных швов каждой из указанных толщин проводился приборами «OmniScan» и «Сканер+» с одинаковой предельной чувствительностью, настроенной по СОП в соответствии с НТД [2].
2. За 100% принято количество отражателей с амплитудой сигнала выше уровня фиксации, выявленных томографом «OmniScan» и классифицированных как дефекты в соответствии с НТД [2].
3. Время контроля 1 м сварного шва УИУ «Сканер+» указано при следующих параметрах: поперечно-продольная схема сканирования; скорость поперечного перемещения ПЭП не более 100 мм/с; шаг продольного перемещения ПЭП не более 5 мм.
4. Время контроля 1 м сварного шва томографом «OmniScan» указано при следующих параметрах: электронное сканирование в поперечном сечении шва без поперечных перемещений ФР; одновременный двухсторонний контроль двумя ФР, установленными в сканере; продольное перемещение ФР с помощью сканера со скоростью не более 100 мм/с. При оценке трудоемкости контроля конкретных швов по указанной схеме следует учитывать время установки сканера на шов, которое составляет не более 30 с.

Сравнительные результаты контроля сварных швов нержавеющей сталей, полученные с помощью томографа «OmniScan» и УИУ «Сканер+», приведены в табл. 3.

На основании проведенных сравнительных исследований томографа «OmniScan» с ФР и дефектоскопа УИУ «Сканер+» с одноэлементным ПЭП установлено следующее.

1. При контроле сварных швов с искусственными дефектами зафиксировано 100% совпадение результатов по выявляемости дефектов при близком ($\pm 1,5$ дБ) амплитудном отношении «полезный сигнал/шум».
2. При контроле сварных швов с естественными дефектами совпадение результатов составило не менее 75%, при этом для толщин более 6 мм томограф «OmniScan» позволил выявить больше дефектов, чем УИУ «Сканер+», точнее определить их характеристики и координаты. Лучшая выявляемость дефектов вероятнее всего связана с их озвучиванием под переменным углом, которое реализуется с помощью ФР. Данный способ электронного сканирования (при выровненной по углам предельной чувствительности) позволяет получить отражение от дефекта с максимальной амплитудой сигнала. Более высокая точность определения характеристик дефектов достигается использованием ФР вместе со сканерами и датчиками координат. Кроме того, объемная визуализация и документирование данных при томографии снижают влияние субъективных ошибок операторов на результаты контроля.
3. Томограф «OmniScan» с ФР позволил контролировать сварные швы существенно быстрее, чем дефектоскоп «Сканер+» с одноэлементным ПЭП. Например, время контроля 1 м шва толщиной 10 мм с двух сторон для томографа «OmniScan» примерно в 10 раз меньше. Данное превосходство тем заметнее, чем больше толщина контролируемых швов. Это происходит в основном за счет быстрого электронного сканирования, которое выполняется с помощью ФР в каждом поперечном сечении шва шириной до 15 мм.

В ходе проведенных работ отмечен ряд преимуществ томографа «OmniScan» и ФР относительно обычных средств УЗК — дефектоскопов с одноэлементным ПЭП и разверткой типа А:

1. При контроле сварного шва с двух сторон объемная визуализация и документирование данных облегчают анализ результатов, а также уменьшают вероятность пропуска дефектов и других субъективных ошибок.

2. Одновременный контроль каждого сечения сварного шва под разными углами ввода ультразвука повышает вероятность обнаружения разнорасположенных дефектов.
3. Замена механического сканирования электронным значительно сокращает время контроля. При этом для линейного способа электронного сканирования может потребоваться некоторое ужесточение требований к поверхности объекта контроля. Применение секторного способа сканирования, напротив, позволяет снизить трудоемкость подготовки объекта к контролю и увеличить его контроледоступность.

В заключение отметим, что при контроле сварных швов нержавеющей стали томограф «OmniScan» с ФР позволяет использовать и «классические» способы борьбы со структурными шумами. К ним относятся: контроль на пониженных рабочих частотах (до 1,5 МГц для серийно выпускаемых ФР), увеличение размеров излучателя-приемника (активная апертура до 44,8 × 26,0 мм для 16-элементной ФР с шагом 2,8 мм), применение ФР по раздельно-совмещенной схеме, использование продольных волн вместо поперечных. В последнем случае не требуется замена самой ФР, поскольку тип волн, вводимых в объект контроля, задается углом сменной призмы.

Заключение

1. Ультразвуковой томограф с фазированными решетками «OmniScan» может успешно применяться для НК сварных швов нержавеющей стали в соответствии с методикой ОАО «НИИХиммаш» [2].
2. Применение томографа с фазированными решетками «OmniScan» по сравнению с обычными средствами УЗК позволяет одновременно повысить как надежность и достоверность, так и производительность ультразвукового контроля.

Литература

1. ГОСТ 14782-86. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые.
2. РД 2601 128 2000. Инструкция по ультразвуковому контролю стыковых и угловых сварных соединений химической аппаратуры из сталей аустенитного и аустенитно-мартенситного классов с толщиной стенки от 4 до 30 мм.
3. РД 34.17.32 97. Котлы паровые и водогрейные. Трубопроводы пара и горячей воды, сосуды. Сварные соединения. Контроль качества. Ультразвуковой контроль. Основные положения. (ОП 501 ЦД 97).
4. Advances in Phased Array Ultrasonic Technology Applications. — Olympus NDT. 2007. — 512 p.