ДВОЙНЫЕ МАТРИЧНЫЕ ФАЗИРОВАННЫЕ РЕШЕТКИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ ПРИ КОРРОЗИОННОМ МОНИТОРИНГЕ

ПЕПЕЛЯЕВ Андрей Валентинович
Технический консультант, ООО «ТЕХКОН», Москва

Дано понятие о двойных (раздельно-совмещенных) матричных преобразователях — фазированных решетках (ПФР). Рассмотрено их применение при ультразвуковом контроле основного металла, в том числе для выявления коррозионного растрескивания.

Двойные матричные преобразователи

В предыдущей статье [1] было рассказано о матричных преобразователях с фазированными решетками (ПФР). Здесь рассмотрим двойные матричные ПФР, в которых массивы излучающих и принимающих элементов разделены на две группы (рис. 1).

Такая конфигурация позволяет использовать при контроле преимущества раздельно-совмещенной схемы подключения генераторов и приемников по сравнению с совмещенной. К ним относятся фокусировка лучей с пересечением диаграмм направленности излучающих и принимающих элементов на заданном уровне и в заданной области объекта контроля (ОК), а также уменьшение мертвой зоны и рост чувствительности к отражателям, близко расположенным к поверхности ввода ультразвука.

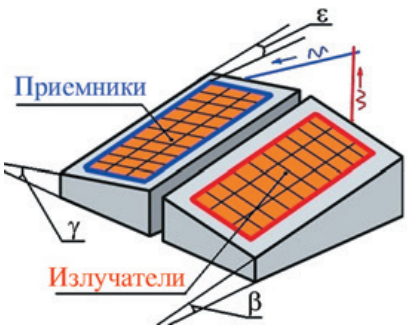

Рис. 1. Двойной матричный ПФР типа DMA: β – основной угол призмы; ε, γ – дополнительные углы призмы

Фокусировка лучей в ПФР данного типа может выполняться как путем электронного управления полем излучения-приема, так и конструктивно — за счет основного и дополнительных углов призмы, причем с двойным массивом элементов можно применять призмы с различными углами (рис. 1).

Двойные матричные ПФР часто обозначают аббревиатурой DM или DMA (dual matrix array). Если число элементов в основной плоскости DMA больше, чем в дополнительной, например 7×4, то такие массивы иногда относят к типу 1.5D [1].

Вместе с DMA рассмотрим двойные линейные ПФР, в которых излучающие и принимающие элементы образуют линейные массивы. Они обозначаются как DL или DLA (dual linear array).

ПФР типа DMA и DLA широко используют, например, при ультразвуковом контроле (УЗК) основного металла и коррозионном мониторинге, а также при УЗК сварных швов из нержавеющих сталей и других подобных материалов с высоким уровнем структурных шумов.

Применение DMA и DLA повышает чувствительность контроля и надежность выявления дефектов, снижая при этом риск перебраковки. Они позволяют решать различные сложные задачи УЗК. Это показывают примеры из практики.

Применение ПФР DMA и DLA при коррозионном мониторинге

В настоящее время сплошной УЗК основного металла для выявления коррозионных и других дефектов чаще выполняют прямыми совмещенными ПФР линейного типа. Например, широко приме-

Рис. 2. ПФР типа DLA, модель REX1

няется роликовый ПФР R1 из 64 элементов, который при рабочей частоте 5 МГц имеет мертвую зону (приповерхностное разрешение) около 2 мм [2].

Для уменьшения мертвой зоны до значения 0,5–1,0 мм используют ПФР типа DLA, иначе говоря, раздельно-совмещенные ПФР. Другой способ уменьшить мертвую зону — это сократить длительность импульсов, в том числе за счет увеличения рабочей частоты преобразователя.

ООО «ТЕХКОН» в своих проектах по инструментальному обеспечению УЗК металлоконструкций, где требовалось высокое разрешение и выявление дефектов на минимальной глубине до 0,5 мм, применял ПФР DLA модели REX1 (рис. 2) [3]. Он имеет двойную апертуру 32 или 64 элемента и рабочую частоту от 2 до 10 МГц. Конструктивно данный ПФР включает сменную акустическую задержку с возможностью притирки под конкретный диаметр, вставки с быстрой регулировкой высоты для защиты рабочей поверхности от износа, а также систему подачи контактной жидкости.

Для документирования результатов контроля в виде карт коррозии к нему крепят датчик пути либо устанавливают в сканеры различных моделей [2]. Минимальный наружный диаметр ОК цилиндрической формы для ПФР REX1 равен 101,6 мм.

ПФР DMA и DLA также используют для обнаружения коррозионного растрескивания – опасных коррозионных повреждений, которые распространяются по границам зерен и другим структурным неоднородностям металла в виде сетки мелких трещин и по мере своего роста могут объединяться. Это не уменьшает остаточную толщину металла, но резко ухудшает его механические свойства и часто приводит к авариям. Такие процессы вызывает, например, высокотемпературная водородная коррозия (ВТВК, high temperature hydrogen attack – HTHA), сульфидное растрескивание, а также коррозионное растрескивание под напряжением (КРН – стресс-коррозия, stress corrosion cracking – SCC).

Для выявления подобных дефектов, особенно в начальной стадии их образования, требуется высокая чувствительность, поэтому применяют DMA и DLA с высокой рабочей частотой до 15 МГц. К ним относится упомянутый REX1, а также двойной раздельно-совмещенный 10DL32-A28 со сменными наклонными призмами и фокусировкой на различные диапазоны глубин [3].

Новые технологии контроля TFM и PCI

При коррозионном мониторинге, а также в других задачах УЗК совместно со специализированными ПФР может эффективно применяться технология общей фокусировки TFM [4 – 6]. Она позволяет повысить чувствительность и разрешающую способность, более точно определять размеры и форму дефектов. Например, можно установить профиль коррозионных повреждений, отличить их от дефектов типа расслоений, определить угол пересечения поверхности коррозионных язв с донной поверхностью ОК, что бывает важно для оценки их опасности (рис. 3).

Другая новая технология, которую применяют в том числе и для решения задач коррозионного мониторинга, — это фазово-когерентное отображение PCI. Ее главная особенность состоит в том, что при визуализации и анализе результатов основной информационной характеристикой является не амплитуда, а фаза, т.е. в данном случае время прихода и полярность сигналов [7, 8]. В этом технология PCI похожа на дифракционно-временной метод (ДВМ, TOFD).

Технология PCI позволяет в ряде случаев повысить чувствительность и лучше выделять полезные сигналы на фоне различных шумов и помех. Поэтому ее применяют в том числе и для обнаружения водородной коррозии на ранней стадии. Амплитудными методами это сделать сложно, поскольку в начале своего образования данные трещины имеют небольшой размер, произвольную ориентацию и при этом расположены близко к зоне донного сигнала с высокой амплитудой. Но указанные трещины можно выявить по дифракционным сигналам от их краев, поскольку они имеют более вы-

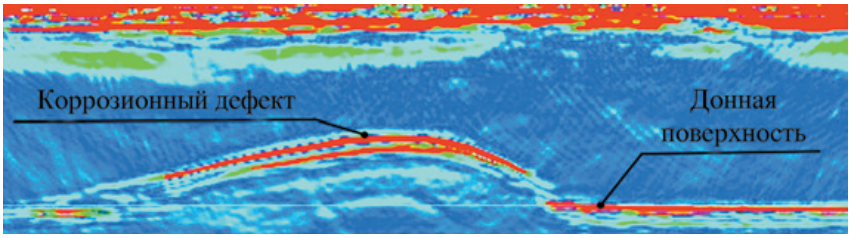

Рис. 3. Определение формы коррозионных дефектов по технологии TFM

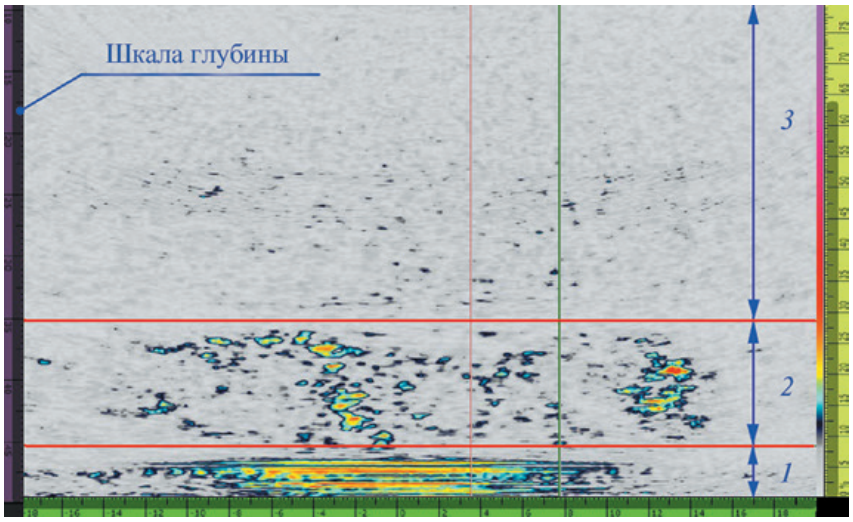

Рис. 4. Выявление водородной коррозии по технологии PCI:
1 — донный сигнал; 2 — водородная коррозия; 3 — структурные шумы

сокую когерентность, чем донный сигнал и структурные помехи (рис 4).

Технологии контроля TFM и PCI реализованы в таких дефектоскопах, как OmniScan X4 и PHASEYE [9]. В дефектоскопе PHASEYE контроль по технологиям TFM и PCI можно выполнять одновременно с другими методами контроля в режиме «Мультигруппа». Это существенно повышает надежность выявления дефектов разного типа и в целом делает применение дефектоскопа более эффективным.

Библиографический список

1. **Пепеляев А. В.** Матричные фазированные решетки и ультразвуковой контроль сварных точек // Территория NDT. 2026. № 2. С. 24 – 27.
2. **Сканеры** для ультразвукового контроля. Каталог // Сайт ООО «ТЕХКОН». URL: https://techkontrol.ru/skanery
3. **Ультразвуковые** фазированные решетки: Каталог // Сайт ООО «ТЕХКОН». URL: https://techkontrol.ru/preobrazovateli-i-komplektuyushchie/ultrazvukovye-fazirovannye-reshetki
4. **Чи-Ханг Кван.** Оптимизация выбора преобразователя для контроля методом TFM/FMC // Территория NDT. 2019. № 4. С. 36–43.
5. **BS ISO 23865:2021.** Non-destructive testing – Ultrasonic testing – General use of full matrix capture/total focusing technique (FMC/TFM) and related technologies / The British Standards Institution. ISO, 2021.
6. **ASME Committee.** ASME BPVC.V Article 4 Mandatory Appendix XI Full Matric Capture / ASME, 2019.
7. **Le Duff A., Painchaud-April G.** Phase Coherence Imaging for Flaw Detection / Evident, 2022.
8. **Tartaglia T.** Advantageous Applications for Phase Coherence Imaging (PCI) / Evident, 2022.
9. **Дефектоскопы** на фазированных решетках: Каталог // Сайт ООО «ТЕХКОН». URL: https://techkontrol.ru/defektoskopy/defektoskopy-na-fazirovannykh-reshetkakh

Издательский дом «Спектр»

КНИГИ ПО НЕРАЗРУШАЮЩЕМУ КОНТРОЛЮ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ

Спектр
Издательский дом

https://id-spektr.ru/

РЕКЛАМА