

МАТРИЧНЫЕ ФАЗИРОВАННЫЕ РЕШЕТКИ И УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ СВАРНЫХ ТОЧЕК



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

Матричные преобразователи — фазированные решетки

В предыдущих статьях [1, 2] было рассказано о специализированных преобразователях — фазированных решетках (ПФР) линейного типа [3]. Их элементы могут не находиться в одной плоскости, но расположены по одной линии, например по дуге окружности, как у радиусных ПФР. Теперь рассмотрим более сложные конфигурации из тех, которые чаще всего применяют в ультразвуковом контроле (УЗК) [3].

Одними из таковых являются двумерные матричные ПФР, которые часто обозначают индексом М или 2D. Если число элементов по разным сторонам массива отличается в несколько раз, например 24 и 4, то для него иногда используют индекс 1.5D (рис. 1).

Матричные ПФР по сравнению с линейными имеют одно важное преимущество — они реализуют

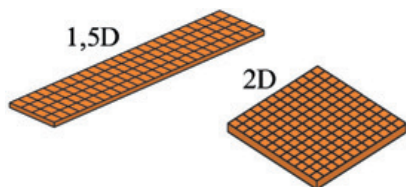


Рис. 1. Матричные ПФР

ют не двумерное, а трехмерное электронное сканирование. Для массивов 1.5D такое управление ограничено. Например, оно позволяет отклонять луч приблизительно в диапазоне $\pm 10^\circ$ в дополнительной плоскости [4], но для некоторых применений этого может быть достаточно.

Чтобы использовать свойства матричных ПФР в полной мере, необходим дефектоскоп с достаточным числом независимых каналов излучения и приема (генераторов и приемников), которые могут работать одновременно с массивом элементов без мультиплексирования — переключения одного генератора и приемника на несколько элементов.

В кратких технических характеристиках многоканальных дефектоскопов число независимых каналов N1 и общее число каналов с мультиплексированием N2 часто указывают в виде N1: N2. Так, для универсального портативного оборудования число каналов обычно не превышает 64:128. Для работы с матричными ПФР необходим дефектоскоп, имеющий, как правило, не менее 32 независимых каналов. Кроме того, дефектоскоп должен поддерживать соответствующие законы фокусировки и типы электронного сканирования, расчет и выполнение которых являются более сложными, чем для линейных ПФР.

Матричные ПФР используют, например, для УЗК сварных швов, а также объектов типа прутков, валов и болтов при прозвучивании с торцовых зон. Но здесь рассмотрим их применение для контроля сварных точек. Это важное направление УЗК, по которому размещают не так много информации.

Особенности УЗК сварных точек

Контактная точечная электросварка широко применяется в автомобиле- и авиастроении, при создании космической техники и в некоторых других отраслях. УЗК сварных точек имеет свою специфику. Кроме выявления несплошностей, для достоверной оценки качества соединения необходимо определить размер литого ядра и некоторые другие характеристики.

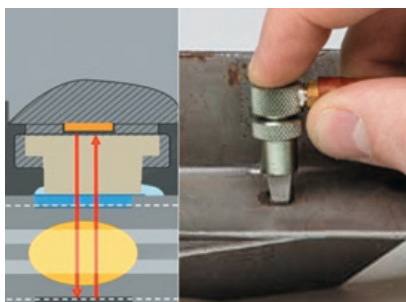


Рис. 2. Традиционный УЗК сварных точек

Одним из характерных дефектов сварных точек является слипание, когда соединяемые детали находятся в плотном контакте друг с другом без прослойки воздуха, но литая структура с перемешиванием материала между ними не образуется. Прочность подобных соединений является крайне низкой. Такой дефект нельзя выявить по отраженному от него сигналу, поскольку он отсутствует. Поэтому при УЗК сварных точек нужно в том числе установить границы основного материала и литой структуры, что можно сделать по критерию более высокого ослабления ультразвуковых сигналов в последней.

В то же время при конвейерном крупносерийном производстве контроль должен быть максимально производительным, когда на одну сварную точку желательно тратить не более нескольких секунд. Для этого даже в рамках ручного УЗК нужно автоматизировать следующие процессы:

- установление надежности акустического контакта;
- определение заданных характеристик сварной точки;
- оценку качества сварного соединения;
- внесение результатов контроля каждой сварной точки в электронную базу данных.

Традиционный УЗК сварных точек

УЗК сварных точек кузовных деталей автомобилей и других подобных объектов обычно выполняют прямыми совмещенными преобразователями с рабочей частотой, как правило, 15 или 20 МГц и сменными акустическими задержками, диаметр которых подбирают в зависимости от диаметра сварных точек (рис. 2). Как вариант, возможно применение акустической задержки в виде цилиндра, заполненного жидкостью, с эластичной мембраной в зоне акустического контакта, которая способна принимать форму отпечатка сварной точки.

Но эти традиционные средства имеют ряд недостатков. Например, они не позволяют достаточно точно определить размеры литого ядра сварной точки, от которого зависит прочность соединения. Можно пытаться достичь этого путем ручного ска-

нирования каждой сварной точки, но такой способ не обеспечит требуемой надежности и производительности контроля.

Одним из лидеров в производстве средств УЗК сварных точек являлась компания Panametrics, вошедшая затем в Olympus, Evident и Wabtec, предлагающая не менее 20 моделей специализированных преобразователей, каждый из которых можно применять с различными типами акустических задержек [5].

Для упрощения анализа результатов в дефектоскопах серии Epoch предусмотрена опция сохранения так называемых шаблонов. Это А-сканы годных и негодных сварных точек с различными типами дефектов, которые могут отображаться на дисплее одновременно с текущим А-сканом для их сравнения. Кроме того, для хранения данных в этих дефектоскопах удобно применять двумерные массивы в виде таблиц, в которых, например, строка соответствует контролируемой детали, а столбец — сварной точке [6].

Как интересный пример средств для автоматической оценки качества сварных точек, в том числе и с учетом графиков ослабления сигналов, можно вспомнить дефектоскоп Epoch 4Plus с программной опцией «Ассистент точечной сварки» [7]. Он выпускался в 2000-х годах, но в дальнейшем производитель не стал развивать данное направление.

УЗК сварных точек матричными ПФР

ООО «ТЕХКОН» уделяет большое внимание УЗК сварных точек. Такое оборудование с комплексом мер технической поддержки мы уже много лет поставляем российским и зарубежным компаниям, которые применяют данный вид сварки.

Понимая недостатки традиционных средств контроля и идя навстречу требованиям заказчиков, специалисты «ТЕХКОНа» с 2008 г. начали эксперименты по использованию в данных целях ПФР [8]. Ситуацию осложняло то, что изначально доступными были только ПФР линейного типа, а они по своим характеристикам не вполне подходили для решения поставленных задач. Требовались именно матричные ПФР небольших размеров, которые способны выполнить трехмерное электронное сканирование сварной точки с высоким разрешением.

Плодотворным оказалось сотрудничество с компанией Eintik. Она наладила выпуск универсального многоканального дефектоскопа PHASEYE, который может комплектоваться в том числе специализированным программным обеспечением (ПО) и матричными ПФР для контроля сварных точек [9].

Базовой моделью ПФР для данной цели является 15M52. Этот преобразователь имеет двумерную матрицу из 52 элементов, диаметр 12 мм, рабочую частоту 15 МГц, а также сменные акустические



Рис. 3. Дефектоскоп PHASEYE в комплектации для УЗК сварных точек

задержки различного диаметра. Дефектоскоп PHASEYE в режиме контроля сварных точек с матричным ПФР 15M52 и настроечным образцом показан на рис. 3.

Автоматизация анализа результатов

Матричный ПФР и специализированное ПО дефектоскопа PHASEYE позволяют провести электронное сканирование сварной точки с высоким разрешением и получить ее С-скан, по которому автоматически определяются диаметр литого ядра, толщина сварного соединения, глубина отпечатка, а также наличие дефектов типа нарушений сплошности, например несплавлений (рис. 4, 5).

При этом очень важно, что на основании полученных данных и установленных критериев автоматически выполняется оценка качества сварной точки по системе «годен — негоден» (pass — fail). По результатам контроля формируется таблица, в которой для каждой сварной точки указываются ее маркировка, оценка качества, С-скан, измеренные характеристики и другая информация (рис. 6). Шаблон такой таблицы с маркировкой точек создается отдельно для каждой контролируемой детали.

Для еще большей надежности и наглядности контроля ПО дефектоскопа позволяет использовать 3D-модели контролируемых деталей. На них отображаются все сварные точки, выделяется текущая контролируемая или анализируемая точка

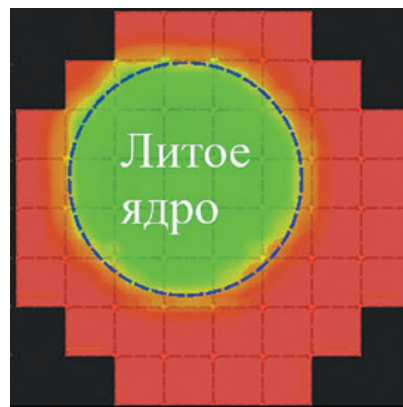


Рис. 4. С-скан сварной точки без дефектов

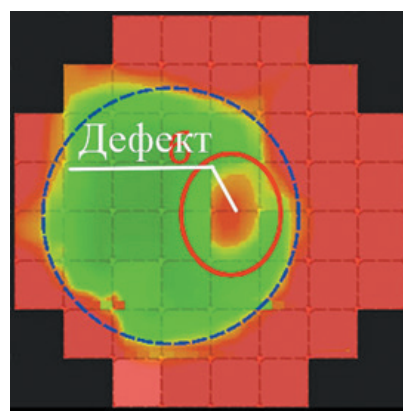


Рис. 5. С-скан сварной точки с дефектом

(с привязкой к таблице результатов), отмечаются годные и негодные точки, а также показан маршрут, по которому проводят контроль (рис. 7).

При необходимости все полученные данные с помощью беспроводных технологий передаются с дефектоскопа на внешний компьютер, что позволяет оперативно формировать общую базу данных с результатами контроля качества.

Заключение

УЗК сварных точек с помощью матричных ПФР в режиме трехмерного электронного сканирования с высоким разрешением повышает надежность, информативность и производительность контроля.

Рис. 6. Таблица с результатами УЗК сварных точек

Name	Result	C scan	Diameter	Indentation	Stack
weld2	fail		6.5	23.1%	1.15
weld3	fail		6.5	20.0%	1.18
weld4	pass		6.6	18.2%	1.20

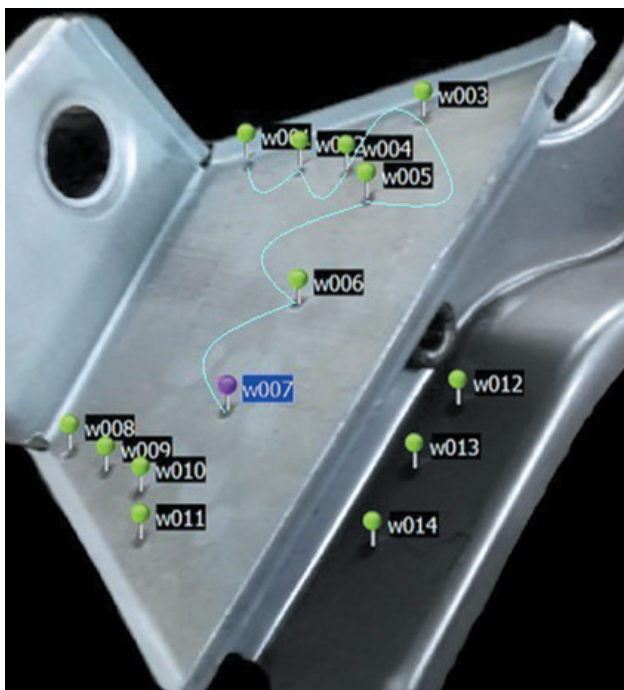


Рис. 7. 3D-модель детали с результатами УЗК сварных точек

Проблемой многих систем УЗК с ПФР является то, что они быстро собирают большие массивы данных, но обработка этих данных операторами часто занимает много времени и не исключает субъективные ошибки. Поэтому один из путей развития УЗК — автоматизация анализа результатов контроля, в том числе с помощью нейросетей и систем искусственного интеллекта. В медицине для подобных исследований это уже становится нормой.

Приведенный пример УЗК сварных точек с автоматической обработкой результатов, оценкой ка-

чества, формированием базы данных и использованием 3D-моделей объектов контроля — тоже шаг в данном направлении.

Другие области применения матричных ПФР будут рассмотрены в следующих статьях.

Библиографический список

1. Пепеляев А.В. Ультразвуковые фазированные решетки специального назначения // Территория NDT. 2025. № 3. С. 58 — 61.
2. Пепеляев А.В. Ультразвуковые фазированные решетки специального назначения. Часть 2 // Территория NDT. 2026. № 1. С. 38 — 41.
3. Ультразвуковые фазированные решетки. Каталог // Сайт ООО «ТЕХКОН». URL: <https://techkontrol.ru/preobrazovateli-i-komplektuyushchie/ultrazvukovye-fazirovannye-reshetki/>
4. Техническое руководство по ультразвуковому контролю с применением фазированных решеток. Полезные формулы, диаграммы и примеры / R/D Tech Corp., 2005.
5. Spotweld Transducers for Ultrasonic Testing / Olympus NDT.
6. Epoch 650. Ультразвуковой дефектоскоп. Руководство по эксплуатации / Olympus NDT.
7. Epoch 4Plus. Инструкция по эксплуатации / Olympus NDT.
8. Семеренко А. В., Пепеляев А. В. Использование фазированных решеток для ультразвукового контроля точечной сварки // Сварка и диагностика. 2009. № 6. С. 49 — 52.
9. Дефектоскопы с фазированными решетками. Каталог // Сайт ООО «ТЕХКОН». URL: <https://techkontrol.ru/defektoskopy/defektoskopy-na-fazirovannykh-reshetkakh/>

ПРИЛОЖЕНИЕ «Территория NDT» ДЛЯ МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

