

УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ ФАЗИРОВАННЫЕ РЕШЕТКИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Часть 2*



ПЕПЕЛЯЕВ Андрей Валентинович

Технический консультант, ООО «ТЕХКОН», Москва

В первой части статьи после небольшого исторического обзора было рассказано о преобразователях — фазированных решетках (ПФР), которые предназначены для контроля на большую глубину материалов с высоким затуханием ультразвука: композитов, резины и тому подобных. Это низкочастотные ПФР с большой апертурой, их иногда называют преобразователями с глубоким проникновением ультразвуковых сигналов. Одна из сфер применения таких ПФР — контроль лопастей ветрогенераторов из стеклопластика толщиной до 100 мм.

Здесь рассмотрим другой фланг модельного ряда — ПФР для объектов контроля (ОК) с небольшими размерами, толщиной и радиусом кривизны, а также сложной формы. Для ОК сложной формы будут упомянуты и другие технологии контроля.

Миниатюрные ПФР с высокой рабочей частотой и малым шагом элементов, что обеспечивает при контроле высокую чувствительность и разрешение. Примером может служить ПФР мини-роликового сканера R4 (рис. 1) [1]. Его рабочая частота 10 или 15 МГц, апертура $19,2 \times 3,0$ мм, состоит из 64 элементов, расположенных с шагом 0,3 мм. Шаг 0,3 мм является минимальным у большин-

ства производителей, но создатель данного сканера компания Eintik по заказу выпускает ПФР с шагом до 0,1 мм.

Радиусные (конвексные) ПФР, в которых элементы расположены по дуге окружности. Их применяют для контроля:

- радиусных зон деталей из композитов и других материалов;
- труб и прутков с небольшим наружным диаметром, обычно от 20 до 100 мм.

В данном случае, если трубы и прутки контролируют в режиме растрового сканирования, то основное перемещение выполняют не по окружности, как плоским ПФР, а по продольной оси ОК, что может быть более эффективным (рис. 2). Для плоского ПФР с притертой призмой такая схема сканирования также возможна, но она требует специальных законов фокусировки, которые обеспечивают ввод всех генерируемых лучей по нормали к поверхности ОК.

ПФР с радиусом контактной поверхности от 10 до 50 мм серийно выпускают, например, компании Eintik и Evident (бывший Olympus, а с 2025 г. Wabtec), но у Eintik больше диапазон некоторых характеристик: рабочие частоты от 2,25 до 5,00 МГц (по заказу возможны другие значения), а число элементов от 16 до 128 [2].



Рис. 1. Мини-роликовый сканер R4

* Часть 1 см. «Территория NDT». 2025. № 3. С. 58 — 61.

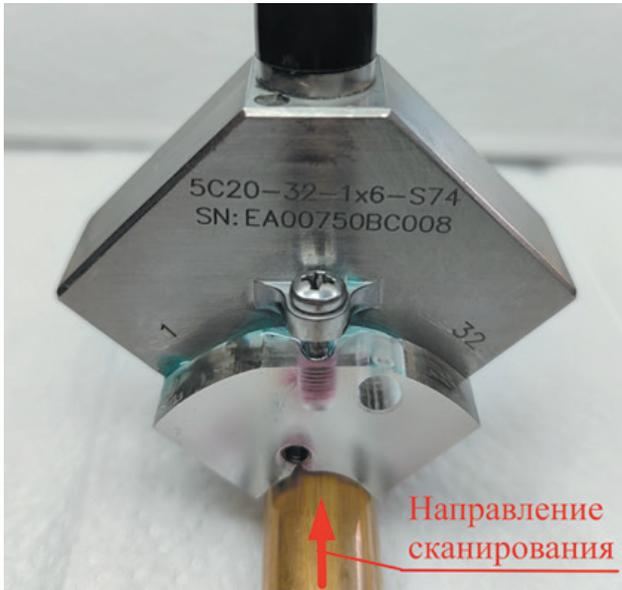


Рис. 2. Контроль прутка радиусным ПФР по выпуклой поверхности ОК

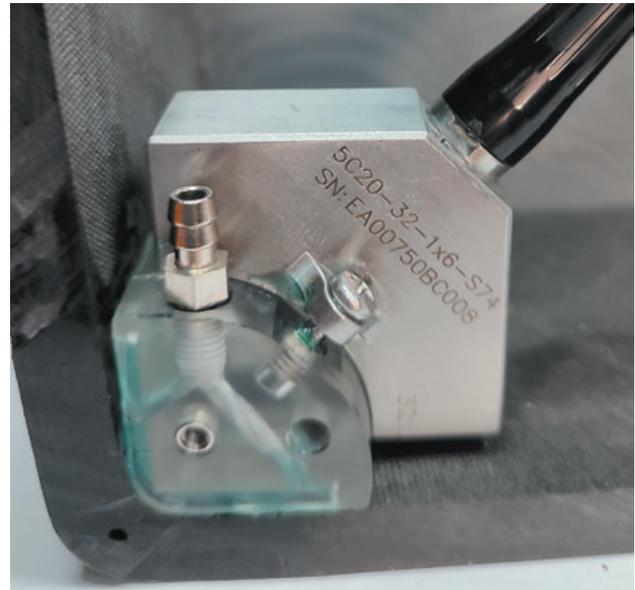


Рис. 3. Контроль образца из углепластика радиусным ПФР по вогнутой поверхности ОК

Интересно, что использование некоторых радиусных ПФР возможно и по выпуклой, и по вогнутой поверхности ОК, для этого меняется только призма (рис. 2, 3).

ООО «ТЕХКОН» использовал для некоторых своих проектов по контролю композитов радиусные ПФР в иммерсионном исполнении. В этом случае можно применять универсальную призму, она позволяет проводить контроль как по выпуклой, так и по вогнутой поверхности ОК. Кроме того, с помощью регулировочного винта, который перемещает ПФР внутри такой призмы, настраивают положение зоны контроля в зависимости от радиуса и толщины ОК (рис. 4, 5).

Из проблем, связанных со сложной формой ОК, можно отметить отклонения радиусов кривизны от своих номинальных значений, что особенно характерно для деталей из композитов. Кроме того, большие иммерсионные ванны имеют ограниченное применение. Решить эти проблемы в некоторых случаях позволяют акустические задержки из специальных эластичных материалов типа аквалена, а также локальные иммерсионные ванны — водяные призмы.

Гибкие ПФР, в которых элементы расположены в ленте из эластичного материала. Они способны повторить форму поверхности ОК и могут применяться для ОК с переменным радиусом



Рис. 4. Контроль радиусным ПФР с универсальной призмой в иммерсионной ванне

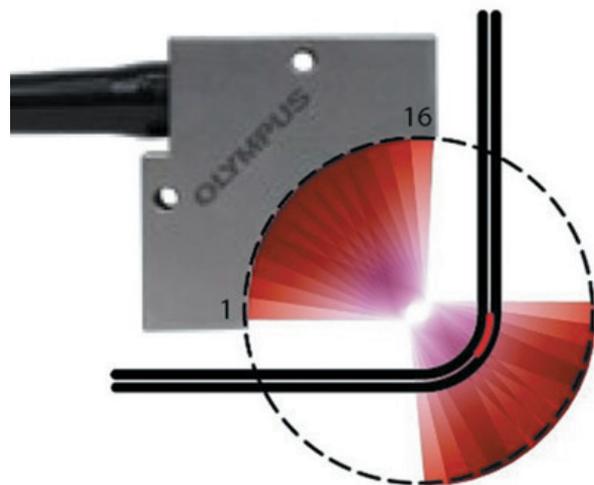


Рис. 5. Настройка положения ПФР для радиусной зоны ОК



Рис. 6. Гибкий ПФР, вид со стороны контактной поверхности

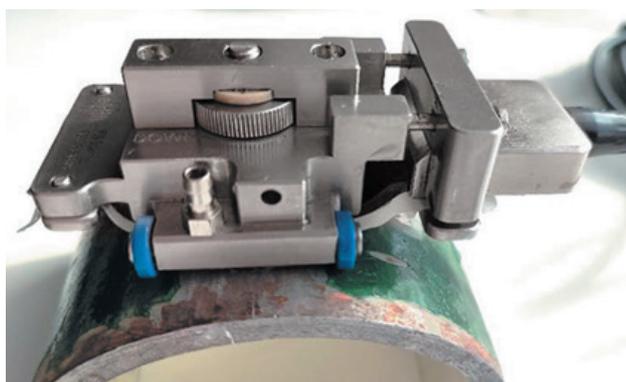


Рис. 7. Сканер R39 с гибким ПФР



Рис. 8. Сканер R5 с гибким ПФР и комплектом призм разного диаметра

кривизны. Например, это отводы трубопроводов. Их контроль в режиме сплошного сканирования особенно важен, поскольку на отводах больше вероятность появления эрозионных, коррозионных и других дефектов. Кроме того, как и радиусные ПФР, гибкие ПФР используют для контроля труб небольшого диаметра со сканированием по продольной оси.

Гибкий ПФР производства Eintik, состоящий из 32 элементов с рабочей частотой 7,5 МГц, приведен на рис. 6. Чтобы показать расположение элементов, вид дан со стороны контактной поверхности ПФР. Также выпускаются гибкие ПФР с другими рабочими частотами и апертурой 64 элемента [1].

Гибкие ПФР используют со специальными призмами и сканерами. Одним из них является сканер R39 производства Eintik (рис. 7) [1]. В нем применяется контактный способ ввода ультразвука через гибкий износостойкий протектор, регулировки под диаметр ОК, а при необходимости может быть установлен датчик пути.

Другие модели сканеров для гибкого ПФР — это R5 производства Eintik [1] и FlexoFORM производства Evident [3]. Они позволяют проводить сплошной контроль основного материала труб и отводов разного диаметра с малым шагом сканирования примерно 1×1 мм и высокой производительностью. Для этого один и тот же гибкий ПФР помещают в различные водяные призмы, диаметр которых выбирают в зависимости от радиуса кривизны поверхности ОК (рис. 8).

Такая удобная конструкция позволяет, в частности, быстро переходить к контролю различных участков отвода, например по его выпуклой или вогнутой поверхности (рис. 9, 10).

Подобные сканеры с гибким ПФР и соответствующим набором призм могут использоваться на ОК диаметром от 25 мм и до плоскости.

Но применение водяных призм имеет свои особенности. В них нужно постоянно поддерживать давление жидкости и компенсировать ее неизбежный расход. Кроме того, в такие призмы возможно проникновение воздуха, который экранирует ультразвуковые сигналы и от которого надо будет избавляться.

По опыту контроля трубопроводов с постоянным наружным диаметром более 100 мм систему с водяной призмой во многих случаях успешно заменяет роликовый ПФР, который проще и надежнее в эксплуатации. Это же подтвердили полевые испытания, проведенные ООО «ТЕХКОН» совместно с подрядчиками ПАО «Транснефть». А вот для ОК с переменным радиусом кривизны, таких как отводы, применение водяных призм может быть весьма эффективным.

Другие технологии контроля объектов сложной формы. К ним относится *когерентная адаптивная фокусировка (Coherent Adaptive Focusing, CAF)* [4 – 6]. Она позволяет путем программного управления полем излучения-приема ПФР адаптировать фронт генерируемой волны к криволинейной поверхности ОК. Интересно, что используемые при этом законы фокусировки автоматически создаются при сканировании каждого сечения ОК. С такой целью сначала для всех элементов ПФР определяется время прихода интерфейсного сигнала — сигнала, отраженного от поверхности ОК, через которую вводится ультразвук.

Для технологии CAF требуется дефектоскоп с соответствующими характеристиками и функци-



Рис. 9. Контроль сканером с гибким ПФР по выпуклой поверхности отвода



Рис. 10. Контроль сканером с гибким ПФР по вогнутой поверхности отвода

оналом, а также специализированное программное обеспечение (ПО). Компания Olympus в некоторых установках автоматизированного контроля деталей из композитов объединила сразу две технологии — радиусные ПФР и САФ. В них применялся дефектоскоп FOCUS PX, а также ПО Focus PC, FocusControl SDK и FocusData SDK.

Другим средством контроля объектов сложной формы являются сканеры, которые имеют не одну–две, а три и более осей перемещения преобразователя, причем к линейным перемещениям добавляются еще и вращения. Примером может служить автоматизированная система сканирования ASIS [1]. В таких системах траектория сканирования способна повторить форму поверхности ОК, что обеспечит требуемый угол ввода ультразвуковых лучей.

Указанные в данном цикле статей ПФР и сканеры, как и многие другие средства неразрушающего контроля, демонстрируются в лаборатории ООО «ТЕХКОН», на стенде ООО «ТЕХКОН» в ходе профильных выставок, а также на объектах заказчиков.

Продолжение следует.

Библиографический список

1. Сканеры для ультразвукового контроля: каталог // Сайт ООО «ТЕХКОН». URL: <https://techkontrol.ru/skanery/>
2. Ультразвуковые фазированные решетки: каталог // Сайт ООО «ТЕХКОН». URL: <https://techkontrol.ru/preobrazovateli-i-komplektyuyushchie/ultrazvukovye-fazirovannye-reshetki/>
3. Сканер FlexoFOR M: руководство по эксплуатации / Olympus Scientific Solutions Americas Corp., 2020.
4. Lamarre A., Grondin E. Coherent Adaptive Focusing Technology for the Inspection of Variable Geometry. Composite Material // 10th International Symposium on NDT in Aerospace 2018. Dresden. Germany, 15 August 2018. Dresden, 2018.
5. Grondin E. Adaptive Focusing Technology for the Inspection of Variable Geometry Composite Material / Olympus Scientific Solutions Americas. Quebec, 2018.
6. Grondin E. Adaptive Ultrasound Technology for the Inspection of Variable Geometry Composite Material / Olympus NDT. Quebec, 2018.

Издательский дом «Спектр»

КНИГИ ПО НЕРАЗРУШАЮЩЕМУ
КОНТРОЛЮ И ТЕХНИЧЕСКОЙ
ДИАГНОСТИКЕ



Спектр
Издательский дом

<https://id-spektr.ru/>

