

Съёмный преобразователь на фазированных решётках (ДААН): решение, способствующее распространению методов ручного ультразвукового контроля.

Франсуа МЕНГИ

Компания HARFANG Microtechniques inc. (г. Квебек)

Аннотация

В настоящее время стоимость высококачественных ПФР представляет примерно до 20% стоимости прибора-дефектоскопа, что наряду со временем от размещения заказа до поставки ПФР, создает проблемы в промышленности и ограничивают распространение этого метода НК. Основная трудность заключается в том, что потребитель начнет инвестировать средства в ПФР лишь тогда, когда убедится в их эффективности. Безусловно, для этого ему понадобится несколько ПФР.

Сама по себе технология изготовления многоэлементных преобразователей гораздо более сложная и дорогая, чем технология производства одноэлементных пьезоэлектрических преобразователей (ПЭП). ПФР примерно в 10 раз дороже одноэлементного ПЭП. И даже, несмотря на то, что единственный ПФР способен заменить несколько одноэлементных ПЭП, большинство заказчиков не могут преодолеть психологический барьер, связанный с их стоимостью.

В данной работе обсуждены технические проблемы, возникающие при изготовлении ПФР. А также предлагается новый метод разработки и производства съёмного преобразователя на фазированных решётках(ДААН) для решения многих проблем связанных с контролем.

1.ИЗГОТОВЛЕНИЕ ФАЗИРОВАННЫХ РЕШЁТОК

Обзор состояния

Большинство ПФР на рынке представлено линейными преобразователями, содержащими до 128 активных элементов, и работающими на частотах 1-10 МГц.

Стоимость изготовления

ПФР достаточно дорого стоят. К примеру, 32-элементный ПФР на рабочую частоту 5 МГц и относительную ширину полосы пропускания 65% стоит порядка 4 000-5 000 долл. США. Розничная цена на подобные ПФР определяется следующими затратами на:

- 1) разработку типа разъёма;
- 2) расчёт длины многожильного коаксиального кабеля;
- 3) сборку кабеля и разъёма (трудозатраты в человеко-часах);
- 4) автоматизированное проектирование и изготовление корпуса ПФР;
- 5) обработку пьезоматериалов;
- 6) измерения, обеспечивающие контроль качества и составление отчетной документации;
- 7) отчисления дистрибьюторам;
- 8) получение прибыли.

Процесс изготовления

Цилиндрическая заготовка изготавливается из порошка пьезокерамического материала. Далее заготовки нарезаются, как показано на рис. 1 а. Промежутки между элементами заполняются полимером (см. рисунок 1 б). Затем диски полируются, и производится металлизация поверхностей нарезанных элементов. Далее элементы подвергаются механической обработке для создания одной или нескольких апертур ПФР.

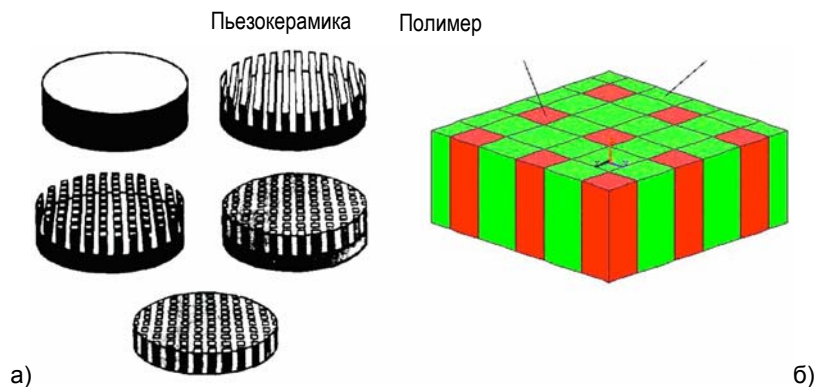


Рисунок 1 а) Процесс «субнарезки» позволяет повысить электроакустические характеристики ПФР
 б) Полимер, заполняющий пространство между столбиками из пьезокерамики
 (вот почему этот материал называют «композитным»)

Для лучшего прохождения акустических волн через призму и создания плавного перехода через границу между материалами, наносится один или два четвертьволновых переходных слоя. Последняя операция при обработке пьезоматериала – это поляризация подложки.

На следующее этапе элементы решетки соединяют с печатными платами. Печатные платы микроаксиальными кабелями подпаивают к разъему, соединяющемуся с дефектоскопом. Далее проводят электрический контроль элементов. Полученная сборка называется «акустическим пакетом». Потом акустический пакет вставляют в корпус преобразователя. Пространство между задней стенкой акустического пакета и верхней частью корпуса заполняется демпфирующим составом на основе эпоксидной смолы. Последняя операция состоит в проверке общих характеристик ПФР. При этом все элементы подвергаются контролю по центральной частоте, полосе частот и чувствительности. К каждому поставляемому ПФР прилагается паспорт с протоколом испытаний.

2. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ

Можно предположить, что описанный выше процесс изготовления связан с большим числом ручных операций, требующих профессиональных навыков и затрат времени, кроме того иногда получаются дефектные преобразователи, что приводит к повышению их стоимости. Единственным способом, с помощью которого НК может получить выигрыш за счет изготовления более дешевых ПФР – это ограничение числа конструкций ПФР и возможность отделения активной части.

3. СУЩЕСТВУЮЩАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ОПЕРАЦИЙ

Наиболее распространенная последовательность операций, связанных с изготовлением ПФР, такова:

Пользователь (заказчик):

1. определяет геометрические параметры подлежащего контролю изделия.
2. информирует разработчика о предшествующем опыте применения одноэлементных ПЭП при контроле этого изделия (как о попытках применения, так и о реальном контроле).

После этого разработчик ПФР:

3. формулирует требования к условиям ультразвуковой диагностики детали.
4. прорисовывает конструкцию ПФР.
5. прорисовывает конструкцию призмы.
6. проверяет реализуемость конструкции ПФР и призмы, после чего может потребоваться переработка конструкций.
7. предпринимает попытку получить доступ к техническим требованиям аналогичных ПФР и призм. При невозможности получения доступа к указанным материалам см. п. 9.
8. оптимизирует конструкции ПФР и призмы.
9. заказывает ПФР и призму у изготовителя.
10. использует новые ПФР и призму для проверки условий ультразвуковой диагностики и окончательного составления методики НК.

11. дорабатывает конструкции ПФР и призмы для лучшего удовлетворения требований пользователя, если это необходимо (повторение этапов по п.п. 9 и 10).

12. окончательно составляет и публикует методику НК.

После этого пользователь:

13. проводит проверку работоспособности ПФР на месте с использованием новой методики НК.

14. поддерживает обратную информационную связь с разработчиком ПФР относительно результатов и возможного внесения изменений в конструкцию ПФР и призмы.

Операции по п.п. 4-12 представляют собой длительные и трудоёмкие задания, в особенности для неопытного персонала. Необходимо отметить, что для решения одной прикладной задачи НК обычно требуется много времени и множество ПФР, что может заставить отказаться от данных работ.

Для упрощения рассмотренной выше последовательности операций предлагается новая технология изготовления ПФР.

4. НОВАЯ КОНЦЕПЦИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПФР

Предлагаемая новая концепция изготовления ПФР основывается на стандартизации максимально возможного числа элементов в конструкции ПФР. Новая концепция состоит в поиске достаточно дешёвых элементов ПФР, создании съёмных преобразователей на фазированных решётках (ДААН) со стандартными разъёмами и контактными поверхностями. Предусмотрены два варианта исполнения ДААН. Первый вариант характеризуется наличием плоской решётки элементов и отверстий в корпусе для внешнего крепления призмы, а второй вариант – наличием встроенной призмы, выполненной под определенным углом для генерирования продольных или сдвиговых УЗ-волн (с профилированной рабочей поверхностью).

Первое преимущество нового подхода: Снижение стоимости производства, позволяющее поставщикам накапливать запасы оборудования в нескольких регионах вблизи от их конечного пользователя и снижение розничной цены ПФР с 20% до 5-8% от стоимости портативного УЗ-дефектоскопа.



Рисунок 2 Детали конструкции съёмного преобразователя на фазированных решётках ДААН
Соединительный и Y-образный кабель

Второе преимущество: Снижение стоимости процесса контроля, как за счёт стоимости съёмного преобразователя, так и за счёт экономии времени на разработку и определение характеристик ПФР.

Третье преимущество: Многие пользователи могут использовать стандартные преобразователи, не требуется разработка преобразователей для конкретной задачи.

Четвёртое преимущество: Соединительный кабель может сопрягаться с различными

приборными разъёмами типа Hypertronics, ITT-Cannon, TCZIF и I-PEX.

Пятое преимущество связано с взаимными соединениями – сокращением числа разъемов непосредственно в приборе. А также наличие разветвителей, которые могут объединять несколько ПФР в одном разъеме.

Шестое преимущество: Стандартизация контактной поверхности преобразователя приводит к стандартизации призм и методов подключения координаторов положения.

Сама по себе предлагаемая концепция достаточно проста. В течение многих десятилетий одноэлементные ПЭП отсоединялись от кабеля, поэтому предлагаемая конструкция ПФР представляется их эквивалентом.

Новая концепция направлена на реализацию правила 80/20 (согласно которому 80% выпуска должны составлять 20% компонентов общей номенклатуры), при котором выпускаемые модели и семейства смогут покрывать до 80% потребностей рынка.

7. ПРЕДЛАГАЕМАЯ НОВАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ОПЕРАЦИЙ

Новая технология изготовления ПФР позволяет использовать и новую последовательность производственных операций.

Пользователь:

1. сообщает о предшествующем опыте контроля изделия с помощью одноэлементного ПЭП (как о попытках применения, так и о реальном контроле).
2. заказывает съёмный преобразователь с техническими и/или эксплуатационными характеристиками, близкими к имеющимся у одноэлементных ПЭП,
3. использует преобразователь для проверки условий УЗ контроля и завершает процедуру при получении удовлетворительных результатов; в противном случае выполняет операцию по п. 4.

После этого эксперт по ПФР:

4. дорабатывает конструкцию съёмного преобразователя с целью оптимального удовлетворения требований пользователя (если это необходимо). Новый преобразователь может быть выполнен в виде специализированной конструкции или монолита.
5. окончательно составляет и публикует методику НК.

Наконец, пользователь:

6. проводит проверку работоспособности ПФР на месте с помощью новой методики НК.
7. поддерживает обратную информационную связь с разработчиком ПФР относительно результатов и возможного внесения изменений в конструкцию съёмного преобразователя.

Новая технология должна реально позволять выполнять этапы 1-3 в течение 2-3 недель, тогда как при стандартной последовательности операций (п.п. 1-9) (3) на это обычно требуется 7-10 недель. Кроме того появляется возможность иметь запас съёмных преобразователей на фазированных решётках (ДААН).

8. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

За время написания статьи было изготовлено множество макетов ПФР. В данном разделе речь пойдет о результатах, полученных с помощью ПФР с рабочей частотой 5 МГц, с 32-элементной решёткой, шагом 0,8 мм и высотой 12 мм (модели T1-PE-5.0M32E0.8P). Решётка имеет следующие специализированные характеристики:

- 1) Рабочая частота – 5,0 МГц \pm 0,5 МГц
- 2) Ширина полосы частот – не менее чем 80% для всех элементов
- 3) Максимальное отклонение по чувствительности элементов – 1,5 дБ

а. Электроакустические характеристики

Рисунок 3 иллюстрирует степень однородности элементов по рабочей частоте, ширине полосы пропускания и чувствительности. Полученные результаты превзошли запланированные параметры конструкции. Были проведены испытания четырех ПФР, для которых были получены следующие результаты: Рабочая частота – 5 МГц с максимальным отклонением от нее 0,1 МГц. Импульсный отклик был практически одинаков для всех

элементов. Средняя ширина полосы пропускания составляла 100% и была не менее 98% для худшего элемента. Средняя чувствительность элементов составляла 0,42 дБ для всех ПФР, которую можно считать наилучшей на данный момент.

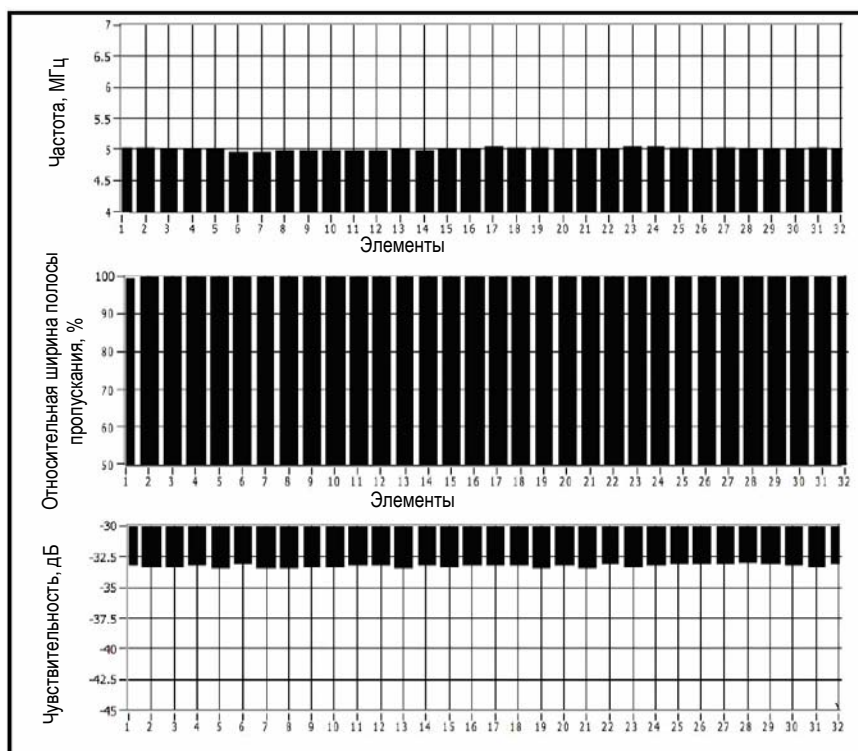


Рисунок 3 Однородность характеристик элементов

б. Визуализация

Макеты ПФР испытывались на предмет возможности визуализации структуры объекта с использованием призм для сдвиговых волн и стандартных образцов из углеродистой стали. Группа из трех отверстий, наклоненных под углом 60 град. визуализировалась с использованием оптимизированной точки фокусировки, устанавливаемой на центральном отверстии. В таблице 3 приведены результаты сравнения изображений, полученных с помощью съёмного преобразователя на фазированных решётках DAAN, и датчика одного хорошо известного изготовителя.

ТАБЛИЦА 3

Сравнение изображений, полученных на приборах известных изготовителей

	Изображение, полученное на приборе изготовителя № 1	Изображение, полученное с помощью DAAN
Секторное изображение(S-скан) отражателей в стандартном образце AWS для контроля разрешения (в режиме стоп-кадра)		
Апертура	25 × 10 мм	25,6 × 12 мм
Напряжение	100 В	100 В
Коэффициент усиления	19,0 дБ	5,0 дБ
Относительная чувствительность*	0 дБ	+10,4 дБ

*Чувствительность определяется относительно площади эталонной апертуры в эхо-импульсном режиме.

Мы также сравнивали диапазон развертки по стандартному образцу IIV. Макет съёмного преобразователя на фазированных решётках (ДААН) обладал диапазоном сканирования от 34 до 78 град. (по уровню – 6 дБ) для сдвиговых волн.

Фото блока IIV

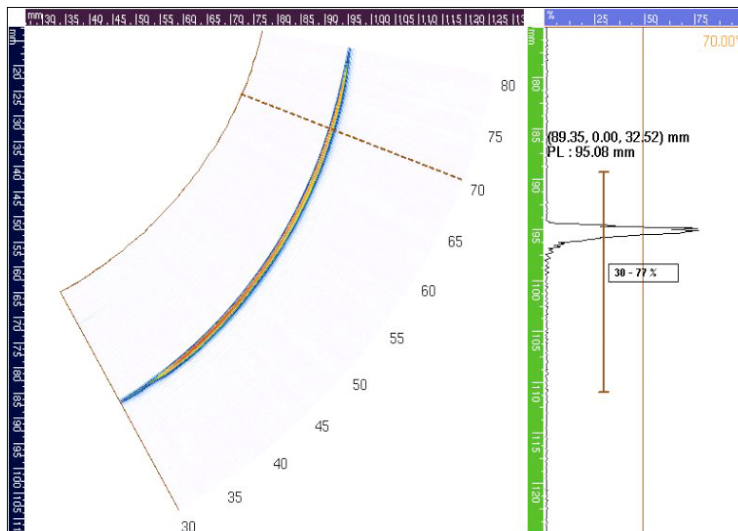


Рисунок 4 Диапазон сканирования – от 34 до 78 град. (по уровню – 6 дБ для сдвиговых волн)

в. Механическая прочность

Конструкция ПФР выбиралась с учетом его эксплуатации в условиях соответствующих классу защиты IP66. Кроме того ПФР погружались в воду на глубину 15 см, а также испытывались на удар при падении на бетонный пол с высоты 3 м. Стыковочное гнездо и съёмный преобразователь при этом оставались в идеальном состоянии.



Рисунок 5 Герметичный съёмный преобразователь ДААН, испытываемый методом погружения на глубину 15 см

9. ВЫВОДЫ

Новая технология изготовления съёмных преобразователей на фазированных решётках (ДААН) представляется весьма многообещающей, преобразователи получают расширенные функции и обеспечивают свободу выбора модели дефектоскопа. Среди многочисленных достоинств новой концепции можно отметить низкую стоимость и высокую работоспособность ПФР. Это должно поднять репутацию доступности и простоты ручного УЗК с использованием ПФР. Приведен анализ технологий и современного уровня развития техники, представлены результаты визуализации структуры объекта контроля и измерений электроакустических характеристик ПФР, которые на настоящий момент являются одними из лучших.

10. ЛИТЕРАТУРА

- [1] «A Practical Proposal for Designing, Testing and Certification of Phased Array Probes Used in Nuclear Applications», J. Pogue *et al.*, 4th International Conference on NDE in Relation to Structural Integrity for Nuclear and Pressurised Components, London, December 2004.
- [2] «Multi-Zone Imaging», F. Mainguy, HARFANG Microtechniques inc., 9th European Conference on NDT (ECNDT), September 2006.
- [3] «Phased Array is not the solution to all problems», T. Armott, Lavender International, American Society of Nondestructive Testing (ASNT) – Fall Conference, October 2005.
- [4] «E1961-1998, Standard Practice for Mechanized Ultrasonic Examination of Girth Welds Using Zonal Discrimination with Focused Search Units», American Society of Testing Materials.
- [5] «Phased Array and TOFD: When they Score, Where they Don't», M. Moles, R/D Tech inc., American Society of Nondestructive Testing (ASNT) – Fall Conference, October 2005.
- [6] «Use of Ultrasonic Examination in Lieu of Radiography», Section I and VIII, Division 1 and 2, ASME Code Case 2235-8, Cases of ASME Boiler and Pressure Code, October 2005.
- [7] «Procedure for Manual Examination of Pressure Vessel Welds from the Outside Surface Using Phased Array Ultrasonic Technology», G. Selby *et al.*, Electric Power Research Institute (EPRI), Charlotte, May 2005.
- [8] PZ Flex software, Weidlinger Associates Inc., contact Paul Reynolds and Robert Banks, Los Altos (CA).
- [9] «The Role of Piezocomposites in Ultrasonic Transducers», W.A.Smith, IEEE Proceedings Ultrasonics Symposium, 1989.
- [10] «Computer Modeling of Diced Matching Layers», G. Wojcik *et al.*, IEEE International Ultrasonics Symposium Proceedings, 1996.
- [11] «AWS D1.1:2006, Structural Welding Code – Steel», American National Standards Institute (ANSI).
- [12] «AWS D1.5:2002, Structural Welding Code – Steel», American National Standards Institute (ANSI).
- [13] «BS EN1712:1997 – Non-Destructive Testing of Welds – Ultrasonic Testing of Welded Joints», European Standards,.
- [14] «BS EN1714:1998 – Non-Destructive Testing of Welds – Ultrasonic Testing of Welded Joints – Acceptance Levels», European Standards.
- [15] «API Recommended Practice 5UE», American Petroleum Institute, June 2005



Франсуа Менги родился в Ньювилле, провинция Квебек (Канада) в 1975 г. Закончил колледж Сёгер La Pocatière по специальности «Прикладные физические технологии» в 1995 г., а также École de Technologie Supérieure (ÉTS, Монреаль) по специальности «Электротехника» в 2000 г., со специализацией в области микроэлектроники в École d'Ingénieurs du Canton de Neuchâtel (ÉICN, Швейцария). Г-н Менги работал в компании R/D Tech inc. в период с 1995 по 1998 г.г. в качестве специалиста по ПФР. Он также оказывал услуги EPRI в 1999 г., где начал исследовательский проект HARFANG. В 2001 г. он основал компанию HARFANG Microtechniques inc., где до 2004 г. был директором-распорядителем. В настоящее время занимает должность вице-президента по технологии, работая над новыми проектами.

Контактная информация:

Франсуа Менги

4975 rue Rideau (suite 140)

г. Квебек, провинция Квебек, G2E 5H5 – Канада

Телефон: +1 (418) 683-6222 x105

Факс: +1 (418) 683-7032

E-mail: fmainguy@harfangmicro.com

Веб-узел: www.harfangmicro.com