

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ ФАЗИРОВАННЫМИ РЕШЕТКАМИ КОРРОЗИОННО-СТОЙКИХ СПЛАВОВ И СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ РАЗНОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

На правах рекламы



ПАНКОВ Владимир Вячеславович
ООО «Олимпас Москва», Москва

В нефтегазовой и энергетической отраслях промышленности трубопровод часто выполняется из углеродистой стали и покрывается коррозионно-стойкими сплавами (КСС); подобные сплавы могут также использоваться в качестве присадочного материала в кольцевых сварных соединениях (рис. 1). Наличие границ раздела этих сред, а также различных типов сварных швов разнородных материалов затрудняет проведение неразрушающего контроля (НК), поэтому традиционно для проверки трубопроводов используется радиографический метод контроля. Однако применение радиографии связано с длительным временем воздействия и опасным для дефектоскописта излучением. Эти трудности, а также развитие технологии фазированных решеток делают ультразвуко-

вой контроль отличной альтернативой радиографии.

Трудности, возникающие при проведении УЗК

Традиционный ультразвуковой контроль — эффективный и надежный метод проверки сварных соединений из углеродистой стали. Однако при проверке соединений разнородных металлов есть ряд аспектов, усложняющих УЗК.

Граница раздела металл-металл и размер зерна

При прохождении УЗ-пучка через деталь со сварным соединением разнородных металлов УЗ-волна преломляется и отражается (обратное рассеяние) как от границы раздела металл-металл, так и от крупнозернистой структуры. Вследствие этого луч отклоняется и затухает (рис. 2).

Во многих отраслях промышленности все чаще используются сварные соединения из аустенитных сплавов и разнородных металлов. За счет подобных сварных соединений можно улучшать свойства компонентов и добиваться соответствия их характеристик определенным требованиям. Например, на одном участке детали требуется высокая термостойкость, на другом — хорошая коррозионная стойкость. Для каких-то элементов требуется сочетание высокой ударной вязкости или износостойкости в одном положении и высокая прочность в другом.

При контроле этих типов сварных соединений с помощью преобразователей с фазированными решетками возникают сложности, связанные с различной плотностью и неоднородностью акустических свойств материалов (анизотропия). В данной статье рассмотрены важные аспекты проведения ультразвукового контроля (УЗК) сварных соединений аустенитных сплавов из разнородных материалов. Описаны технологические приемы и инструменты, которые позволяют существенно упростить процедуру контроля.

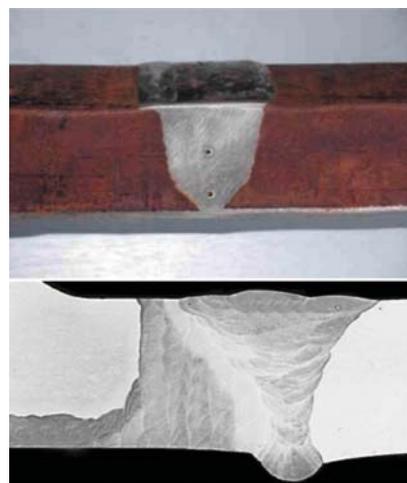


Рис. 1. Плакированная труба со сварным соединением из коррозионно-стойкой стали (сверху) и сварной шов, соединяющий два различных материала — легированную и углеродистую сталь (снизу)

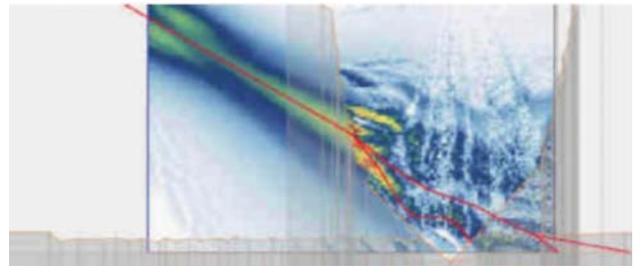
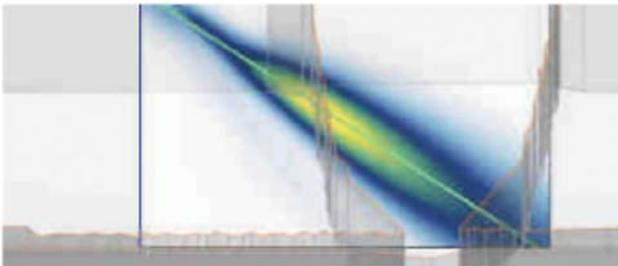


Рис. 2. Сравнение распределения энергии в сварном соединении аналогичных (слева) и разнородных материалов (справа). При использовании поперечных волн на границе раздела наблюдается отклонение и затухание УЗ-пучка

В качестве примера на рис. 3 показано, как граница раздела с высоким уровнем отражения между углеродистой сталью основного материала и коррозионно-стойкой сталью сварного шва влияет на прохождение УЗ-пучка. В результате используемые для проверки чувствительности боковые цилиндрические отверстия не были выявлены поперечной волной, что указывает на необходимость применения других типов волн.

Затухание

Соединяемые сварными швами разнородные материалы имеют различное акустическое сопротивление, также они могут быть неоднородными по структуре, что приводит к значительному затуханию волны. Следовательно, при распространении УЗ-волны затухание будет варьироваться при различных углах и на различной глубине. Как известно, временная регулировка чувствительности позволяет получить одинаковый отклик для отражателей одного размера на разных глубинах залегания и при различном расположении в объеме сварного шва. В случае разнородных сварных материалов сложно точно компенсировать различное затухание, невозможно получить одинаковую чувствительность по всему сечению сварного шва и в зоне термического влияния. Следовательно, необходимо оценить размеры дефекта с учетом уровня чувствительности.

Оптимизация контроля указанного типа сварных соединений подразумевает рассмотрение тех же параметров, которые используются для обычных сварных соединений углеродистой стали. Однако для надлежащего выявления отражателей необходимо обратить внимание на определенные аспекты. Ниже перечислены самые важные параметры, которые нужно учесть.

- Планирование сканирования:
 - выбор типа волн: продольные или поперечные;
 - схема генерации и приема сигнала: эхоимпульсная или раздельно-совмещенная;
 - обеспечение покрытия всего объема сварного шва;
 - тип фокусировки и выбор подходящего преобразователя;
 - возможности оборудования.

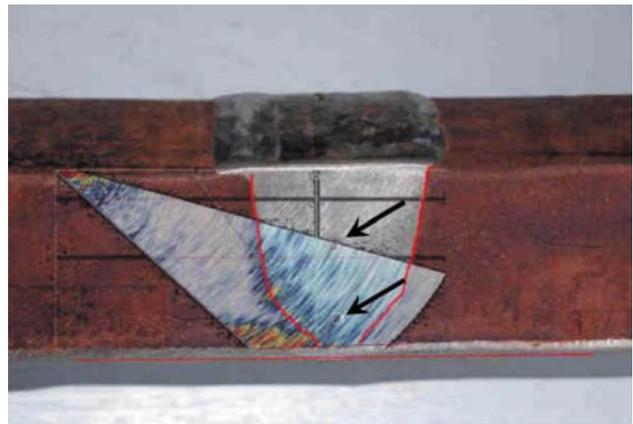


Рис. 3. S-скан поперечной волны, полученный фазированным преобразователем с частотой 5 МГц, наложен на изображение компонента. Боковые цилиндрические отверстия (черные стрелки) не выявлены

- Калибровка:
 - выбор калибровочного блока или стандартного настроечного образца;
 - калибровка задержки призмы;
 - калибровка чувствительности;
 - настройка поискового уровня.
- Допуски на оценку размера и определение глубины отражателя.
- Обеспечение контакта с поверхностью.

Обсудим каждый из этих параметров, рассмотрим возникающие общие проблемы и рекомендуемые пути их решения, для того чтобы быстро получить нужные результаты при контроле сложных разнородных сварных соединений.

Планирование сканирования

Выбор типа волн: продольные или поперечные

Одним из основных аспектов контроля сварных соединений является выбор типа волн. При сканировании сварного соединения продольные волны обеспечивают лучшую передачу энергии УЗ-пучка, чем поперечные. Моделирование в программном комплексе CIVA (EXTENDE, Франция) влияния режима распространения на УЗ-пучка (рис. 4) показывает, что при использовании поперечных волн

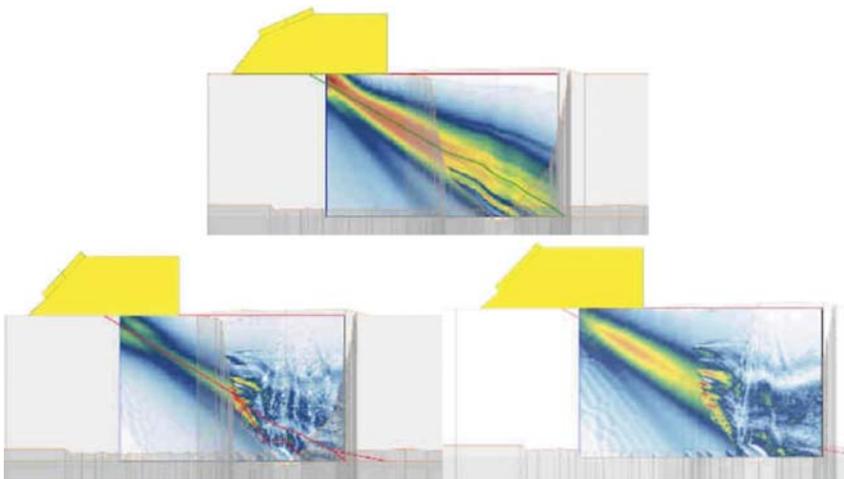


Рис. 4. Компьютерная модель продольной волны 2,25 МГц (вверху), поперечной волны 1 МГц (внизу слева) и поперечной волны 2,25 МГц (внизу справа) в конфигурации импульс-эхо, показывающая, что материал негативно влияет на качество УЗ-пучка при использовании поперечных волн (красная линия неправильной формы)

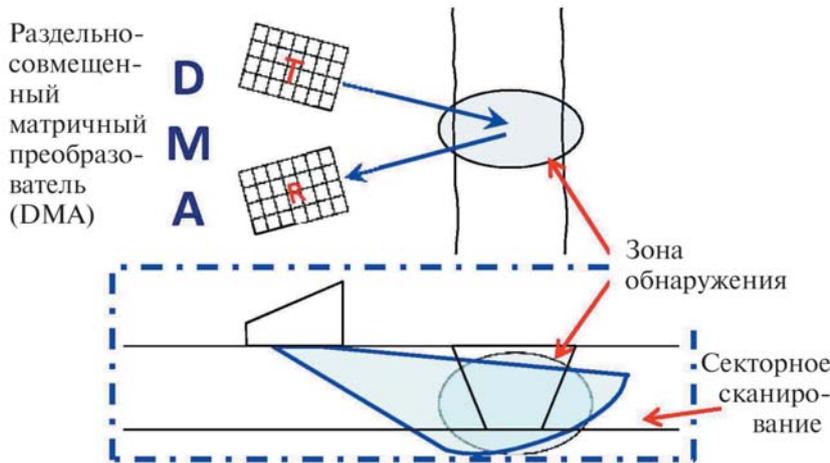


Рис. 5. При использовании РСС для снижения помех используются отдельные генерирующие и принимающие преобразователи

луч больше искажается. Поэтому, несмотря на потенциальные помехи от отраженной поперечной волны, для контроля сварных соединений разнородных материалов рекомендуется использовать продольные волны.

Уменьшение помех с помощью раздельно-совмещенной схемы прозвучивания

Следующим решением для оптимальной настройки контроля является выбор одного или двух преобразователей. Как известно, при контроле сварных соединений можно использовать

два отдельных (передача и прием) или один и тот же преобразователь. Из-за высокого уровня помех, генерируемых в разнородных сварных швах, контроль одним преобразователем (технология импульс-эхо) не оптимален, рекомендуется использовать раздельно-совмещенную схему (РСС) прозвучивания (с двумя преобразователями).

При использовании РСС, также называемой раздельно-совмещенным методом, передающий и принимающий преобразователи различны, поэтому получаемые сигналы возникают только на

участке пересечения двух пучков. Более того, разделение генератора и приемника позволяет уменьшить размер призмы, так как демпфер не требуется. Таким образом, преобразователь можно максимально приблизить к сварному шву, что обеспечивает большую чувствительность контроля.

При использовании раздельно-совмещенного преобразователя продольной волны наблюдается снижение помех и большая глубина проникновения луча, чем в случае поперечной волны. Такая комбинация обеспечивает получение сигнала с меньшим уровнем помех (рис. 5).

При раздельно-совмещенной схеме возможно применение как традиционных УЗ-преобразователей, так и фазированных решеток. Преимуществом фазированных решеток является возможность проведения секторного сканирования, выстраивающего наглядное изображение и обеспечивающего простоту покрытия всего объема без перемещения преобразователя назад и вперед от сварного шва. Эти возможности в сочетании со способностью управлять УЗ-пучком упрощают контроль и повышают выявляемость дефектов, несмотря на то что в некоторых случаях для обеспечения нужной ориентации луча относительно отражателя может потребоваться контроль с разных расстояний между преобразователем и центром сварного шва.

Обеспечивая большую гибкость процесса сканирования, дефектоскопы компании OLYMPUS, такие как Focus PX и OmniScan MX2, позволяют сочетать РСС с технологией фазированных решеток. Контроль при этом рекомендуется выполнять раздельно-совмещенным матричным преобразователем (DMA), состоящим из двух преобразователей, каждый из которых представлен несколькими рядами и столбцами активных элементов (рис. 6).



Рис. 6. На призму установлен DMA ПЭП, состоящий из двух преобразователей по 28 элементов каждый в виде фазированной решетки

Доступны преобразователи DMA с разной частотой, размером, количеством элементов, подходящие для широкого диапазона задач контроля. Благодаря размещению элементов в ряды и столбцы технология фазированных решеток с DMA ПЭП делает доступным ряд функций:

- секторное сканирование (см. рис. 5);
- управление углом ввода УЗ-луча (рис. 7);
- коррекция кривизны при контроле криволинейных поверхностей (рис. 8).

Для РСС характерна локализация объема, в котором может быть получен сигнал с достаточной энергией. На рис. 9 для РСС очерчена область результирующей энергии в точке пересечения. По сравнению с методом импульс-эхо, уровень энергии существенно ниже на участке до пересечения лучей, а также за пределами зоны пересечения.

На рис. 9 также показана уменьшенная глубина ультразвукового поля при РСС. В области чуть ниже и между двумя преобразователями – до точки пересечения лучей – уровень энергии низкий или энергия полностью отсутствует, что говорит о плохой чувствительности. За пределами зоны пересечения плотность потока энергии также снижается. Из-за рас-

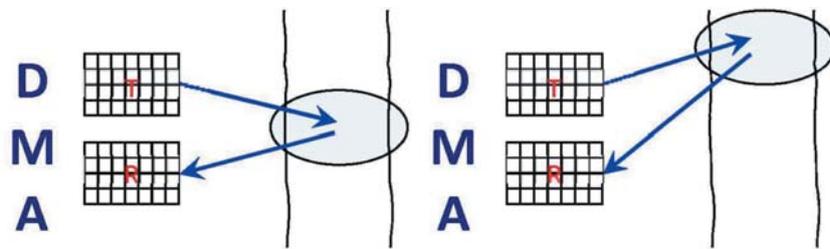


Рис. 7. Использование DMA-преобразователей в рамках РСС позволяет изменять угол ввода УЗ-луча

Рис. 8. Преобразователь DMA (справа) лучше компенсирует кривизну поверхности компонента – меньшая фокусная точка дает более высокую чувствительность

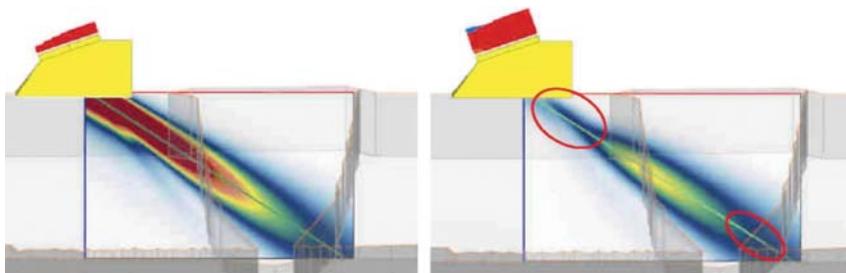
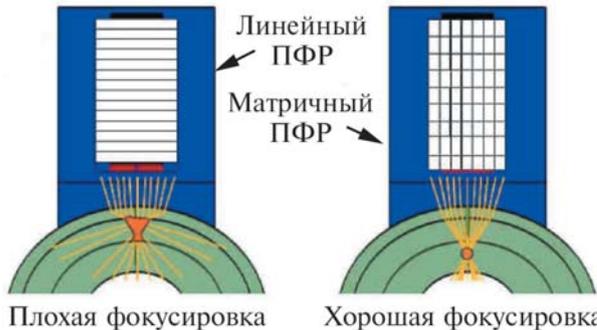


Рис. 9. Сопоставление моделей распределения плотности потока энергии импульс-эхо (слева) и раздельно-совмещенного (справа) преобразователей, а также результирующей энергии переданного и полученного лучей

ширения пучка каждого преобразователя чувствительность на этих глубинах быстро падает. Однако охватываемый сканированием объем по-прежнему достаточно велик.

Таким образом, раздельно-совмещенная схема обеспечивает снижение уровня помех по сравнению с методом импульс-эхо. Благодаря псевдофокусировке луча энергия поступает только из интересующей области – места пересечения двух лучей. Более того, низкопрофильная призма также позволяет как можно ближе подбраться к сварному шву, что благоприятно сказывается на чувствительности.

Контроль поверхности и обеспечение полного покрытия объема сварного шва

При использовании РСС очень важно обеспечить полное покрытие сварного шва. Как показано на рис. 9, возможности РСС обеспечить всесторонний контроль сварного шва продольной волной ограничены. Тем не менее, как правило, требуется проверка всего объема сварного соединения.

К недостаткам использования продольных волн можно отнести одновременное возникновение поперечных волн (рис. 10). Когда продольные волны отражаются от донной поверхности объекта контроля из-за разницы в скоро-

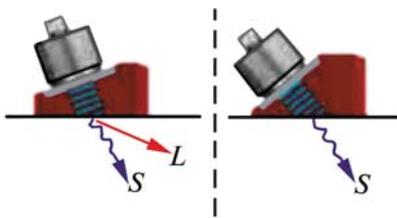


Рис. 10. При генерации продольной волны L также возникает поперечная волна S

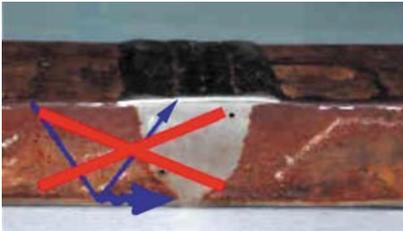


Рис. 11. Для отражения продольных волн не получится использовать обратную стенку компонента, если она покрыта коррозионно-стойким сплавом

сти распространения, поперечные волны будут интерферировать с продольными волнами, достигшими сварного шва и особенно его верхней части.

Внутреннее покрытие из материала (например, плакировка), отличного от основного компонента, ограничивает возможность продольной волны отражаться от обратной стенки (рис. 11).

Так как контроль верхней части сварного соединения секторным сканированием продольной волной затруднен, объем сварного соединения у поверхности можно инспектировать с помощью головной (поверхностной) волны (рис. 12).

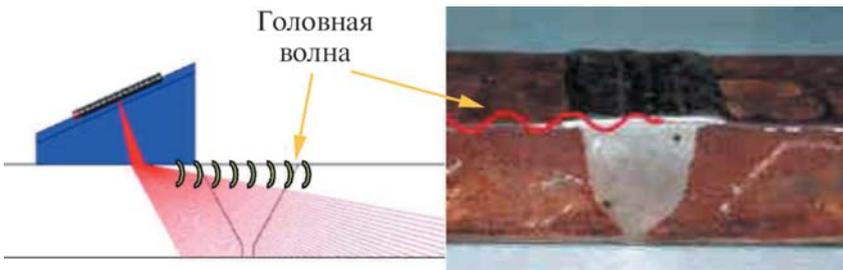


Рис. 12. Слева показана траектория распространения продольных (красный) и головных волн (зеленый). Справа демонстрируется распространение головной (поверхностной) волны по поверхности сварного шва (красный)

В зависимости от материала, структуры шва и характеристик преобразователей головные волны позволяют исследовать первые несколько миллиметров перед преобразователем. Если это расстояние считается достаточным, то контроль можно проводить без снятия верхнего валика сварного шва. Но при необходимости валик сварного шва нужно удалять. Второе сканирование проводится по следующему слою шва для обеспечения полного покрытия всего объема сварного соединения.

Электронная фокусировка и выбор преобразователя

Последним моментом при выборе подходящего фазированного преобразователя является его апертура, а также потребность (или ее отсутствие) в изменении размера фокусного пятна за счет электронной фокусировки.

Когда требуется высокая чувствительность и точное определение размера дефекта, технология ультразвуковых фазированных решеток предоставляет такое важное преимущество, как управление размером фокусного пятна УЗ-пучка. В зависимости от толщины материала, уменьшение или увеличение размера пятна помогает достичь максимальной чувствительности на интересующей глубине.

Каждый фазированный преобразователь имеет естественную

фокусную глубину (также известную как расстояние ближнего поля N_0). Электронная фокусировка (как показано на рис. 13, слева) и/или механическая фокусировка (рис. 13, справа) позволяют уменьшить размер фокусного пятна и сконцентрировать энергию на интересующей глубине, приближая фокальную точку к поверхности ближе, чем величина N_0 .

Однако, когда требуется провести контроль изделий с большой толщиной, электронная фокусировка ограничена величиной ближнего поля N_0 , размер которой может быть меньше толщины изделия. В этом случае необходимо использовать фазированный преобразователь с большим размером активной апертуры. Существует два способа увеличения размера активной апертуры преобразователя, которые можно использовать как по отдельности, так и в комбинации:

- увеличение размеров отдельных элементов. В этом случае для управления элементами не требуется более мощное оборудование (дефектоскоп), но при работе с преобразователями с крупными единичными элементами ограничена возможность управления лучом. Возможность хорошего управления лучом требуется для подготовки эффективного секторного сканирования и оптимального покрытия объема сварного шва;
- увеличение количества элементов, задействованных при контроле. Этот способ обеспечивает контроль на большую глубину без ущерба для управляемости луча и точности. Однако электронное оборудование, используемое для генерации импульса элементами (дефектоскоп), должно обладать достаточной мощностью, чтобы управлять большим количеством элементов активной апертуры. В этом случае, как

правило, активной апертуры в 16 элементов может быть недостаточно.

Возможности оборудования

При контроле сварного соединения с обеих сторон прибор с фазированной решеткой должен иметь возможность управлять несколькими преобразователями одновременно, чтобы по возможности провести сканирование за один проход. В этом случае необходим прибор с 128 каналами (или более) для фазированной решетки.

Чтобы обеспечить это требование, компания Olympus разработала серию приборов и преобразователей, которые облегчают контроль сложных сварных соединений и обеспечивают необходимую достоверность. Для контроля компонентов толщиной до 25 мм рекомендуется использовать DMA-преобразователь с рабочей частотой 4 МГц. При контроле больших толщин или в случае сварных швов с крупным размером зерна адекватное распространение ультразвуковых волн может быть затруднено. В этом случае может потребоваться преобразователь с меньшей частотой (1,5 или 2,25 МГц) и большей активной апертурой. Все указанные преобразователи можно использовать с дефектоскопами Focus PX и OmniScan 32:128PR (рис. 14).

Калибровка

Выбор калибровочного блока

После выбора правильного сочетания оборудования с фазированными решетками (дефектоскопа и преобразователя) также необходимо правильно выбрать процесс калибровки. Калибровка – важный элемент в ультразвуковом контроле, в котором первостепенное значение имеет выбор подходящего калибровочного блока (рис. 15).

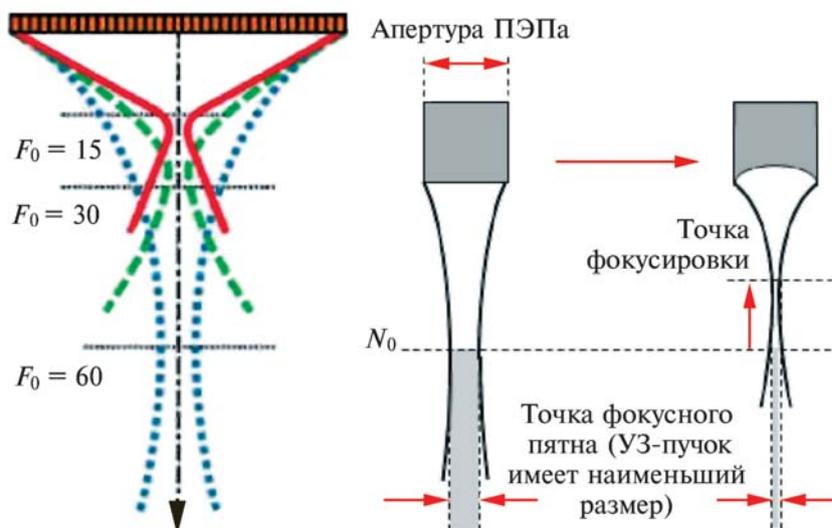


Рис. 13. Электронная (слева) и механическая (справа) фокусировка преобразователя с фазированной решеткой уменьшает размер фокусного пятна и перемещает фокальную плоскость ближе к преобразователю. F_0 – глубина фокуса, N_0 – размер ближней зоны



Рис. 14. FocusPX и OmniScan MX2 компании Olympus (Япония) – два прибора поддерживают работу с DMA-преобразователями

Рис. 15. Калибровочный блок для УЗК



При выборе калибровочного блока требуется учесть два основных параметра: чувствительность калибровки и воспроизводимость результатов контроля:

- чувствительность – настройка опорного уровня по известному отражателю (обычно используют боковое цилиндрическое отверстие) в калибровочном блоке, который можно сопоставить с реальным отражателем;

- воспроизводимость подразумевает, что два разных инспектора, в ходе контроля использующие одинаковую процедуру, должны получить одинаковый результат. Это также означает, что выбранный калибровочный блок может быть продублирован и использоваться разными дефектоскопистами.

Два основных варианта калибровочных блоков:

- блок, изготовленный только из основного металла, без сварного соединения;
- блок с производственным сварным соединением, аналогичным проверяемому.

Хотя блок, содержащий реальный сварной шов, более репрезентативен, он имеет несколько важных недостатков, главным образом он сложноповторяем:

- неоднородность материала шва может привести к затуханию энергии УЗ-луча и различным уровням рассеивания в разных точках сварного шва;
- пучки, генерируемые под разными углами, могут пройти различный объем сварного материала;
- при выявлении отражателей на незначительно отличающихся глубинах чувствительность обнаружения может существенно варьироваться;
- пучки, генерируемые под разными углами, могут иметь разную скорость;
- если требуется два одинаковых калибровочных блока, затухание в них может различаться из-за различных условий при изготовлении блока.

Подобные сложности могут сделать невозможным достижение нужного уровня воспроизводимости, а значит, нельзя гарантировать требуемый уровень чувствительности. При изготовлении калибровочных блоков только из основного материала легче обеспечить идентичность таких свойств, как коэффициент затухания и скорость распространения волны. При этом УЗ-пути также будут аналогичны, а значит, будет аналогично затухание.

Калибровка задержки призмы

При использовании призмы для генерации наклонного луча необходимо провести калибровку всей системы. Калибровка задержки призмы проводится так же, как в стандартном эхоим-

пульсном методе; можно использовать блок с хорошо определяемыми отражателями.

Калибровка чувствительности

В большинстве случаев выполняются две калибровки чувствительности: для продольных волн, покрывающих основной объем, и для поверхностных волн, используемых для исследования верхней (приповерхностной) части сварного шва. Как только воспроизводимость обеспечена за счет выбора подходящего контрольного образца, можно провести калибровку чувствительности. При этом в зависимости от задачи может использоваться фиксированный коэффициент усиления или функция временной регулировки усиления (TCG), построенная по сигналам от боковых цилиндрических отверстий, выполненных на разной глубине.

Для сварных соединений из углеродистой стали построение кривой временной регулировки чувствительности (ВРЧ) является достаточно простой процедурой. Калибровка чувствительности может проводиться, например, при сканировании боковых цилиндрических отверстий (рис. 16).

Если используется не эхоимпульсный метод, то при контроле неоднородных материалов и материалов с высоким затуханием построение кривой ВРЧ может быть затруднено. Волна до различных боковых цилиндрических отверстий может доходить по различным УЗ-путям, с различными коэффициентами затухания, при этом разница необходимого для каждого отражателя усиления слишком велика.

Если ВРЧ не используется, в качестве опорного можно применять один отражатель, расположенный, например, на кромке сварного шва. Однако если требуется ВРЧ, но размер акустического поля (участка с необходимой плотностью потока энергии — рис. 17) уменьшен в результате ис-

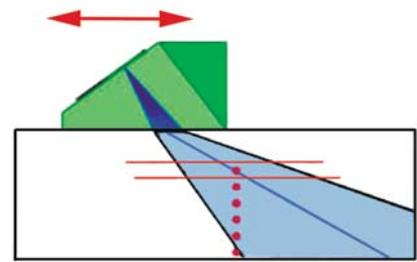


Рис. 16. Фазированный преобразователь перемещается по калибровочному блоку с боковыми цилиндрическими отверстиями для выравнивания амплитуды всех УЗ-лучей (А-сканы) секторного скана

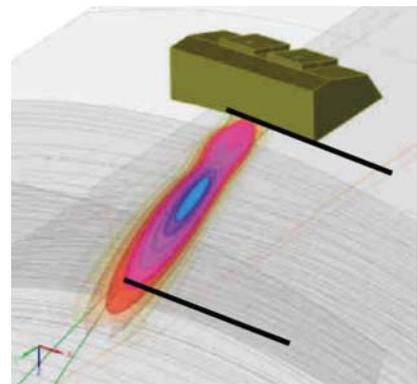


Рис. 17. Ограничение области применения TCG

пользования раздельно-совмещенного метода, то построение кривой ВРЧ может быть очень затруднено. Это связано с тем, что усиление, необходимое для полной компенсации всего УЗ-пучка, может быть слишком высоким. Количество точек кривой ВРЧ определяется размером интересующей области контроля сварного соединения. При построении кривой ВРЧ надо рассматривать точки на тех глубинах и углах, куда луч сможет попасть при проведении контроля сварного шва. Построение более длинной кривой ВРЧ будет затруднительно и часто нецелесообразно.

При калибровке поверхностной волны настройка проще; используется пропилен на наружном диаметре, амплитуда за счет добавления усиления выводится на 80 % высоты дисплея для различных величин расстояния между пропилом и преобразователем.

Уровень выявления

После калибровки чувствительности (с построением ВРЧ или без него) для получения опорного значения еще требуется отрегулировать усиление продольной и поверхностной волн. Для этого обычно проводится исследование известных отражателей, таких как реальный отражатель или плоскодонное отверстие в настоящем сварном шве (рис. 18).

Коэффициент усиления должен быть выбран таким образом, чтобы уровень помех был сведен к минимуму и различные режимы отображения (S-скан, В-скан и С-скан) обеспечивали максимально простое выявление дефекта (рис. 19). При сканировании важно достичь оптимального соотношения сигнал/шум, это обеспечит получение более четких изображений и облегчит процесс анализа.

Дополнительные аспекты

Допуски определения размера и глубины отражателя

После выявления отражателя важно оценить его размер. Поскольку размер отражателя часто является основным параметром, определяющим приемку или отбраковку изделия, то очень важно выбрать адекватный метод его оценки.

Например, при большой расходимости пучка преобразователя метод оценки размера с помощью падения на -6 дБ может не обеспечивать необходимую точность, вариантом может служить метод -3 дБ.

Также важно определить допустимое отклонение по глубине (разницу между максимальной измеренной глубиной и фактической), особенно при наличии на пути УЗ-луча двух материалов с различными свойствами. В этом случае энергия рассеивается, луч может отклоняться, таким образом, диапазон углов ввода лучей не гарантируется (рис. 20). Это может повлиять на измерения глубины, в этом случае требуется настройка допуска по глубине.

Безопаснее, если оператор переоценивает размеры отражателя, чем недооценивает. Однако подобное отношение может привести к неоправданно высокому коэффициенту отбраковки, таким образом, инвестиции в оборудование, обеспечивающее более точное определение размера, приводят к снижению количества отбракованных изделий. Хорошим способом проверки размеров является сканирование нескольких образцов с искусственными отражателями, аналогичными реально выявляемым, с последующим разбиением на секции для подтверждения размеров.

Обеспечение контакта с поверхностью

Последним аспектом при проведении исследования является контакт преобразователя с поверхностью. В рамках раздельно-совмещенной схемы на призму крепятся два преобразователя, генери-

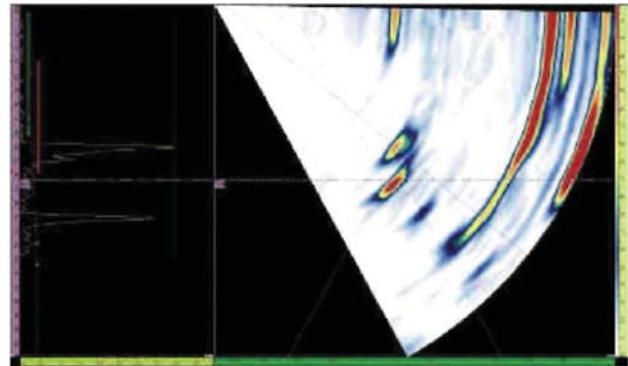


Рис. 18. Регулировка уровня выявления известного отражателя

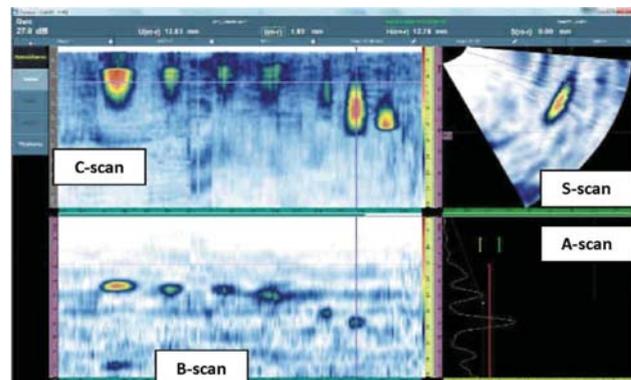


Рис. 19. Уровень усиления необходимо настроить для получения четкого изображения

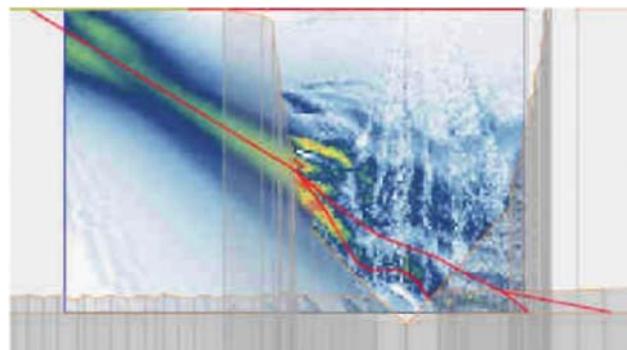


Рис. 20. Компьютерная модель, демонстрирующая влияние материала на отклонение УЗ-луча

рующих УЗ-пучки. Это означает, что две разные точки выхода расположены в разных местах призмы (рис. 21). Следовательно, на корректность результатов контроля может влиять качество контакта преобразователя с поверхностью. Необходимо внимательно следить за тем, чтобы между обоими преобразователями и объектом контроля не образовывалась воздушная прослойка. Для этого можно воспользоваться ручным или электрическим водяным насосом.

Вывод

Ультразвуковой контроль можно использовать для быстрого и детального обследования даже самых сложных сварных соединений. Тем не менее для успешного проведения контроля необходимо учесть различные аспекты, касающиеся технологии, оборудования и калибровки. При выборе любого из методов важно понять его ограничения и, соответственно, правильно составить процедуру контроля. В данной статье коротко рассмотрены трудности и аспекты ультразвукового контроля сварных соединений разнородных материалов, проведение исследования которых чрезвычайно сложно.

В последние годы специалисты в области ультразвукового контроля, работающие во многих отраслях промышленности, оценили очевидные преимущества интегрированных серийных приборов с фазированными решет-

ками (FocusPX, OmniScan MX и MX2), преобразователей с фазированной решеткой и программного обеспечения компании Olympus. При должном внимании к сложностям, описанным здесь, использование раздельно-совмещенных матричных преобразователей позволит обеспечить необходимую точность и достоверность результатов контроля.

Во всех отраслях, где используются крупнозернистые материалы (например, баки сжиженного природного газа со сварными соединениями из стали с 9%ным содержанием никеля, такие плакированные компоненты, как трубы или сосуды для отрасли выработки электроэнергии), УЗК является прекрасной альтернативой рентгенографии, которая требует больших затрат по времени, требует излучения высокой мощности, а также представляет угрозу безопасности и здоровью персонала. Ультразву-

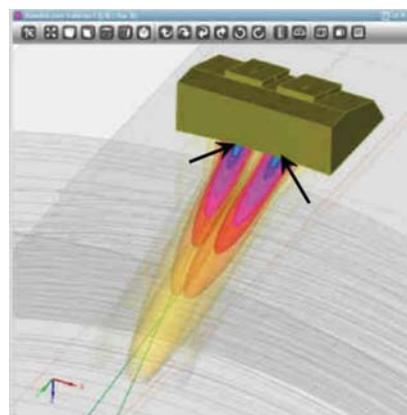


Рис. 21. При использовании раздельно-совмещенной схемы существуют две точки выхода (черные стрелки), для которых необходимо обеспечить хороший контакт, в отличие от одной точки в случае эхоимпульсного метода

ковой контроль повышает эффективность работы оператора и позволяет избежать воздействия вредного излучения, при этом обеспечивается высокий уровень обнаружения дефектов и точность оценки их размеров. ■



Спектр
Издательский дом

В. Н. Данилов, Л. В. Воронкова

ПРОСТО О ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ С ФАЗИРОВАННЫМИ РЕШЕТКАМИ В УЛЬТРАЗВУКОВОМ КОНТРОЛЕ

ISBN 978-5-4442-0144-2.

Формат - 60x90 1/16, 136 страниц. Год издания - 2019, издание 1-е.



390 руб.

Практически без формул дается простое описание физических основ работы преобразователей с фазированными решетками (ПФР), доступное дефектоскопистам любого уровня подготовки, отмечаются особенности, отличающие ПФР от преобразователей с обычными (цельными) пьезопластинами, обращается внимание на преимущества и ограничения их применения. Рассматриваются особенности формирования сигнала прямого линейного ПФР и влияния ряда факторов на его характеристики, особенности формирования сигналов прямого и наклонного ПФР с линейными решетками при наличии акустической задержки, влияющей на их характеристики.

Рассматриваются особенности излучаемых и регистрируемых сигналов прямых ПФР с прямоугольной (двухмерной) решеткой с различным отношением размеров сторон. Показано влияние формы решетки на изменение амплитуды излучаемого ПФР-сигнала вдоль акустической оси, диаграмму направленности, зависимость амплитуды донного сигнала и др.

Приводятся некоторые результаты сравнения теоретических и экспериментальных характеристик ПФР и описываются особенности и возможности их практического применения при ультразвуковом контроле. Показано, что теоретические модели прямых и наклонных преобразователей с линейной фазированной решеткой в целом адекватно описывают работу ПФР. Приведен ряд примеров использования ПФР в практическом контроле, показывающих их особенности и реальные возможности.

Монография полезна для повышения квалификации специалистов по ультразвуковому методу контроля и как учебное пособие для студентов и аспирантов при изучении соответствующего курса.