

Введение

Ультразвуковой неразрушающий контроль в настоящий момент является самым распространенным видом НК и применяется во всех сферах промышленности. Непрерывное повышение требований к безопасности и надежности опасных производственных объектов делает необходимым совершенствование методов НК и, в том числе, к методам УЗК. Одним из направлений совершенствования методов УЗК является повышение информативности получаемых результатов контроля. Главным направлением таких работ является визуальное представление результатов контроля, т.е. визуализация внутренней структуры контролируемого изделия. Как и с использованием других типов физических полей, для этих целей используется и развивается УЗ реконструктивная томография. Понятие реконструкции предполагает получение массива реконструктивных экспериментальных данных и их совместную математическую обработку для формирования изображения сечения объекта. Для получения первичной информации используются различные методы УЗ сканирования.

Одним из активно развивающихся методов УЗ сканирования является метод с использованием преобразователя, перемещающегося по линии сканирования в пределах зоны контроля и формирующего массив эхо-сигналов от отражателей, находящихся в зоне контроля. В результате, при каждом проходе от линии сканирования получается эхо-изображение сечения объекта. Такой метод сканирования называется В сканированием и в настоящее время широко применяется в практике УЗ дефектоскопии. Во всех современных дефектоскопах предусмотрена возможность реализации такого метода. Практическое использование метода В сканирования предполагает наличие системы определения координат ПЭП в плоскости сканирования. Существует различные конструкции сканеров, различающихся своими точностными характеристиками, диапазоном перемещения ПЭП и другими параметрами.

Цель данной работы состоит в изучении литературы по теме; анализе возможностей применения В сканирования для целей УЗК изделий и стыковых сварных соединений; разработке схемы конструкции установке и подборке аппаратуры для ее реализации; эксперимент по получению томографии на примере конкретного объекта – СО-1.

1 Основные методы ультразвуковой дефектоскопии

Применение УЗК началось примерно с 1950 года. Техническая реализация методов в те годы была обусловлена созданием первых серийных лампочек дефектоскопов и разработкой УЗ преобразователей на основе пьезокерамических элементов. С того времени прошел значительно больший срок, за который был накоплен достаточно богатый опыт использования данного метода.

На сегодняшний день УЗК активно применяется на практике в дефектоскопии различных изделий. Из отчета института доктора Ферстера объемы НК, разделенные по методам, распределяются так, как показано на рисунке 1:

Из рисунка видно, что большую часть объемов контроля изделий приходится на УЗ метод (32 %). Кроме того, в отчете подмечается, что несмотря на высокий уровень автоматизации труда широко применяется ручной УЗ метод. Это объясняется тем, что внушительные объемы работ производятся на объектах, которые находятся в эксплуатации: атомные, тепловые электростанции, трубопроводы различных назначений, транспортные средства, металлоконструкции и т.д. У указанных объектов большое разнообразие конструкций, и естественно методик УЗК, и это является причиной того, что работы, связанные с их контролем, плохо поддаются автоматизации.

Значительное количество работ, исходя из анализа применения УЗК на разных объектах, приходится на контроль сварных соединений, выполняемых вручную. В технологии сварки УЗК имеет некоторые особенности. Прозвучивание околошовной зоны и наплавленного металла реализуется с поверхности прилегающих деталей. Для этого применяются наклонные преобразователи. Контроль изделий проводится в стесненных условиях, когда обнаружение дефектов проводится не только прямым, но и лучами, которые отражаются от донной стенки ОК. От конструктивных особенностей шва в сварных соединениях наблюдаются ряд эхо-сигналов,

которые попадают в зону контроля. Это является проблемой распознавания эхо-сигналов от дефектов.

Средства УЗК позволяют получать информативные параметры дефектов, такие как амплитуда эхо-сигнала, условные размеры и координаты дефекта. Улучшение УЗ дефектоскопов и методик в течении уже более трех десятилетий проводится в рамках приведенных информативных параметров. С каждым разом совершенствовались характеристики дефектоскопов - их вес и размеры стали существенно меньше, появились новые сервисные функции, такие как временная регулировка чувствительности, запись настроек и данных контроля, связь с компьютером и т.д. Стали применяться новейшие схемы прозвучивания, к примеру, контроль головными волнами, схемой корневой тандем и контроль с помощью хордовых преобразователей. Но тем не менее, о годности изделия судят по анализу все тех же основных параметров – амплитуды, координат и условных размеров.

Последующее совершенствование УЗ аппаратуры определялось главным образом достижениями микроэлектроники. Создание технологии интегральных схем и микропроцессоров помогло реализовать новые идеи в улучшении УЗ средств. В 70-х и 80-х годах активно развивалось направление создания приборов с типами развертки В (В-scan) и С (С-scan). В развертке типа В детектированные эхо-сигналы визуализируются на плоскости (вид сбоку), а в развертке типа С получается изображение (вид сверху). В таких приборах не применялась пространственная обработка эхо-сигналов и изображения получались сильно размытыми и нечеткими. Несмотря на то, что у изображения плохое качество, оно все же лучше воспринималось оператором нежели эхо-сигнал.

В начале 90-х годов производители УЗ аппаратуры стали искать пути повышения качества изображений.

Методы обработки сигналов, которые повышают качество изображений, называются методами синтезированной аппаратуры. Впервые они были созданы для получения изображений в радах. Позже они нашли свое

применение в медицинских УЗ сканерах. В последнее время данный метод активно исследуется по его применению в приборах для УЗК металла.

В мире существует общая склонность разработки средств визуализации несплошностей, которые основаны на разных физических методах: ультразвуковой, вихретоковый, радиографический и т.д. Это вполне логично, так как представление данных о внутренней структуре изделий в виде изображения помогает определить месторасположение, форму и размеры дефектов, а значит и оценить их опасность. Основываясь на анализ изображений, полученных при контроле изделий решаются происхождения дефектов, а также может быть подкорректирована технология изготовления, принимаются решения о возможности ремонта или возможности последующей эксплуатации оборудования.

УЗК является наиболее информационным с точки зрения формирования изображений. Достаточно высокая чувствительность, оперативность и безопасность применения метода делают его достойным конкурентом другим методам НК.

Методы УЗК классифицируются следующим образом:

- импульсный эхо-метод;
- контактный метод;
- сквозное прозвучивание;
- иммерсионный метод;
- поиск-захват (тандем);
- резонансный метод;
- метод поверхностной волны.

1.1 Импульсный эхо-метод

Наиболее широко применяемый метод УЗК. Звуковая энергия передается в исследуемую среду в виде импульсов. Эти импульсы генерируются и принимаются обратно через определенный период времени (рисунок 2).

В течении небольшого промежутка времени генерируется серия импульсов. Продолжительность импульсов и период времени является двумя важными параметрами, которые контролируются с помощью инструментария. Этот метод широко применяется в настоящее время в области УЗК и применяется он в разных вариантах: контактный, иммерсионный, пошаговое зондирование (тандем) и т.д.

1.2 Контактный метод

В качестве передатчика и приемника выступает одно и то же зондирующее устройство. Это существенно упрощает задачу, так как для тестирования изделия достаточно доступа лишь к одной стороне объекта контроля. Если в ОК будет наличие дефекта, то эхо-сигнал от него будет принят раньше, чем эхо-сигнал от задней поверхности изделия. На экране монитора можно наблюдать отдельные расстояния между моментами прибытия сигналов, что позволяет оценить местоположения дефекта. Определение наличия и отсутствия дефекта в изделии с помощью данного метода приведен на рисунке 3.

1.3 Сквозное прозвучивание

В сквозном прозвучивании используются два УЗ зонда, т.е. передающий зонд и принимающий зонд, которые располагают на противоположных сторонах образца (рисунок 4).

Если дефект отсутствует, то в принимающий зонд поступает сигнал определенной амплитуды (рисунок 5, а). Если в испытуемом объекте есть наличие дефекта, то амплитуда принятого сигнала меньше, чем должна быть (рисунок 5, б). При наличии значительно крупных дефектов наблюдается полная потеря сигнала (рисунок 5, в). Расположение зондов на объекте контроля и картина на экране монитора в разных условиях на рисунке 5.

1.4 Иммерсионный метод

Данный метод продолжение контактного метода контроля, который был описан ранее. В этом методе объект контроля погружают в ванну с водой. Вода – это связующая среда между тестируемым объектом и

преобразователем. Среди других методов УЗК иммерсионному принадлежит главенствующая роль в том, что касается обнаружения дефектов, автоматизации и получения изображений. Самый распространённый метод – метод с использованием нормально падающего (прямого) луча. Регулируя угол падения генерирующего устройством луча относительно нормали к поверхности тестируемого объекта, можно создавать в контролируемой среде поперечные волны. Выбор частоты и вида волн зависит от типа дефекта, который предстоит найти, формы образца и исследуемого материала.

1.5 Поиск – захват, или тандем

Этот метод можно реализовать либо с прямыми лучами (сквозное прозвучивание), либо с отраженными. При тестировании импульсным эхо-методом изображение переданного импульса появляется на экране справа от начального. Главное достоинство метода поиска-захвата заключается в том, что можно отделять отображения помех и побочных явлений от переданного импульса с помощью соответствующего им времени прохождения.

Другим полезным способом применения данного метода контроля является мониторинг сварочного процесса. Метод поиска-захвата также можно реализовать с помощью двух преобразующих элементов, помещаемых в одной сборке.

1.6 Резонансный метод

Состояние резонанса существует, когда толщина материала равна половине длины звуковой волны в материале или кратна ей. Контролировать длину волны в материале можно с помощью контроля частоты. Если имеется передатчик с изменяемой частотой, его можно настроить так, чтобы вызвать резонансное состояние толщины ОК. Данное состояние можно легко распознать по увеличению амплитуды принятых импульсов. Зная основную (собственную) резонансную частоту f и скорость U ультразвука в образце, можно рассчитать толщину t ОК:

$$t = \frac{U}{2f}, \quad (1.1)$$

Поскольку распознать режим основных колебаний достаточно сложно, основные частоты получают из разностей двух соседних гармоник, которые изображаются в виде двух соседних пиков в амплитуде импульса. Поэтому:

$$t = \frac{U}{2(f_n - f_{n-1})}, \quad (1.2)$$

где f_n – частота исходной гармоники, f_{n-1} – частота (n-1)-й моды колебаний.

1.7 Поверхностные волны

Поверхностные волны используются во многих областях техники, особенно в авиации и автомобилестроении. С помощью таких волн проводится все больше и больше обследований материалов нового поколения, к которым относится композиционные материалы и керамика. Применяя подходящие поверхностные волны можно выявлять поверхностные и подповерхностные дефекты в пластинах, на искривленных или любых других образцах со сложной геометрической формой. Большая часть энергии поверхностной волны сосредоточена у поверхности.

Однако для сталелитейной промышленности использование поверхностных волн с целью обнаружения дефектов нехарактерно. Это связано с ограничением, которое проявляется в том, что если качество обработки недостаточно хорошее, то волны стремительно затухают, ограничивая диапазон контроля и усиливая погрешности в измерениях. Часто присутствие масла/смазки на ОК ограничивают получение требуемых результатов. Волны Лэмба применяются для исследования характеристик металлических пластин и комбинированных плит. Волны Стоуни используются для обнаружения коррозии, образующихся в местах соединения двух пластин, в то время как поверхностные волны Рэлея наиболее популярным способом для обнаружения открытых дефектов поверхности.

2 Анализ методов ультразвуковой дефектоскопии, применяемых для контроля сварных соединений

На данный момент методы УЗК сварных соединений стандартизированы и разработано множество инструкций.

Далее рассмотрим основные особенности УЗК сварных соединений. Главным документом, который нормирует технологию контроля является ГОСТ 14782-86. В этом документе приведены схемы прозвучивания сварных швов, определены основные параметры системы контроля и информативные параметры дефектов.

Основной характеристикой системы УЗ метода контроля это воспроизводимость. При разных обстоятельствах, будь то замена дефектоскопа, ультразвукового преобразователя, стандартного образца предприятия и другое, результаты контроля должны быть одинаковыми. Воспроизводимость формируется нормированием комплекса параметров системы дефектоскоп-преобразователь. ГОСТ 14782-86 определяет десять основных параметров:

1. Длина волны или частота колебаний.
2. Чувствительность.
3. Положение точки выхода луча (стрела преобразователя).
4. Угол ввода ультразвукового луча в металл.
5. Погрешность глубиномера.
6. Мертвая зона.
7. Разрешающая способность по дальности и по фронту.
8. Характеристики электроакустического преобразователя.
9. Минимальный условный размер дефекта, фиксируемого при заданной скорости сканирования.
10. Длительность импульса дефектоскопа.

В сварных соединениях контролируется наплавленный металл и зоны термического влияния. Схемы прозвучивания должны снабжать влияние дефектов по всей области контроля (рисунки 6-10).

В УЗК основным измеряемым параметром является амплитуда эхо-сигнала от дефекта. Для того чтобы получить разбраковку эхо-сигналов по амплитуде устанавливается браковочный уровень чувствительности. При помощи СОП настраивается браковочный уровень, в котором есть искусственные отражатели, имитирующие максимально допустимый дефект. Перед тем как проводить контроль дефектоскоп следует настроить - браковочный уровень чувствительности - по эхо-сигналам от отражателей в СОП. После, в процессе контроля проводится сравнение эхо-сигнала от дефекта с браковочным уровнем. Изделие является не годным если амплитуда эхо-сигнала от дефекта больше браковочного уровня, а в противном случае, естественно, изделие является допустимым.

3 Визуализация данных ультразвукового контроля с развертками типа В и С

Техническим решением, для усовершенствования информативности контроля, является представление эхо-сигналов в двумерных и трехмерных изображениях в виде двумерных изображений - развертки типа В и С (рисунок 11).

Формирование разверток типа В и С происходит по серии эхо-сигналов, которые получены в процессе перемещения преобразователя по поверхности ОК. Амплитуда эхо-сигнала характеризует яркость изображения. Эхо-сигналы, которые соответствуют заданным позициям преобразователя, визуализируются в плоскости в определенном масштабе на дисплее дефектоскопа. Развертка типа В есть зависимость амплитуды эхо-сигнала от глубины одного из направлений сканирования (вид сбоку). Развертка типа С представляет собой зависимость амплитуды эхо-сигнала от двух направлений сканирования (вид сверху).

Рассмотрим простые приборы, которые используются для ручного контроля сварных соединений.

Один из таких приборов ультразвуковой дефектоскопии является многоканальный дефектоскоп «Скаруч», фирмы «Элтес». Данный прибор

предназначен для контроля стыковых сварных соединений. Размеры прибора составляют 200×225×90 мм и вес его с аккумуляторами – 3,5 кг.

Этот прибор содержит 8 ультразвуковых каналов. Акустический блок имеет 8 наклонных преобразователей, прозвучивающие сварные швы с двух сторон, по 4 преобразователя с каждой. Работа «Скаруч» производится в 16-тактовом режиме. Каждый такт производит заложенную схему контроля. Для каждой схемы заранее уже установлены: уровень чувствительности, длительность и положение стробов, амплитудные пороги фиксации дефекта. Акустический блок с помощью оператора, вручную, перемещается вдоль сварного соединения. Во время сканирования с шагом 1 мм по пути фиксируются эхо-сигналы во всех 16-ти тактах, после они обрабатываются в дефектоскопе.

Благодаря встроенному микропроцессору обрабатываются эхо-сигналы, по которым можно идентифицировать тип дефекта (плоскостной, объемный, объемно-плоскостной). Определение параметров дефекта реализуется путем сравнения принятых от него эхо-сигналов и выделения максимальных для сигнала и минимальных – для зеркально-теневого метода.

Результаты, полученные в процессе контроля можно просмотреть на экране, также можно подключить принтер к прибору и распечатать их. По полученным данным судят о качестве всего сварного соединения в соответствии с нормативными документами.

Другой прибор для УЗК – современная высокопроизводительная система ISONIC, применяемая также для ручного контроля сварных соединений и основного металла на нефтедобывающих морских платформах. Эта система имеет одноканальный ультразвуковой дефектоскоп, компьютер и систему мониторинга положения преобразователя. Принцип действия данного прибора приведен на рисунке 12.

Контроль сварных соединений с помощью аппаратуры ISONIC производится вручную, как говорилось ранее. Оператор перемещает УЗ преобразователь, производя контроль сварного шва со всех возможных

позиций. Прибор автоматически определяет положение преобразователя на ОК и сопоставляет с этим положением УЗ сигналы. Далее происходит формирование В и С развертки и после изображение выводится на дисплей.

Данная система очень подходит для контроля объектов, находящихся в эксплуатации, так как она обеспечивает достаточно высокую оперативность.

В состав данного прибора входит уникальная система мониторинга положения преобразователя (рисунок 12). В основе системы лежит УЗ методы измерения расстояний в воздушной среде. В ней на рабочий преобразователь оборудованы два импульсных УЗ излучателя, формирующие акустические зондирующие импульсы в воздухе. На противоположной стороне сварного соединения помещается скоба с двумя приемниками. Система мониторинга помогает определить задержки акустических сигналов, которые прошли расстояние от излучателей до приемников, после по полученным данным рассчитывает координаты рабочего преобразователя и его ориентацию.

Дополнительно на ОК устанавливается еще один излучатель. Измеряются задержки акустических сигналов, которые прошли расстояние от данного неподвижного излучателя до приемника. Полученные результаты нужны для коррекции ошибок основных измерений, связанных с наличием ветра и измерением скорости звука в воздухе.

Развертки типа В были применены в дефектоскопах УЗК железнодорожных рельсов. На изображениях, полученных при контроле, хорошо просматриваются трещины в зоне болтовых соединений рельсов и типичные дефекты сварных швов.

4 Ультразвуковая компьютерная томография

Последующим этапом в развитии УЗ аппаратуры стало создание томографических установок, которые представляют данные контроля в виде изображений.

Активное применение УЗ томографы нашли в первую очередь в медицинских диагностических исследованиях. Это в основном связано с тем, что УЗ излучение не оказывает вредного влияния на человека, что очень важно. Кроме этого, задача построения изображения мягких тканей оказывается проще с точки зрения теоретической постановки и в практической реализации.

Во всех УЗ сканерах предусмотрен эхо-импульсный метод. Применяются преобразователи с частотой 3-10 МГц для прозвучивания мягких тканей в области с размером от 10 до 15 см и преобразователи с частотой 7-15 МГц для диагностики малых объектов, к примеру, как яблоко глаза.

В системах УЗ диагностирования применяются многоэлементные УЗ преобразователи, поставляемые в виде акустических блоков. На сегодняшний день используют блоки, содержащие 128 пьезоэлементов. Такое построение акустической системы на данный момент является общепринятым.

К сожалению, в технических описаниях медицинской диагностической аппаратуры есть лишь общие сведения, касающихся способов построения изображений. Эта информация для производителя является «know-how».

Простым и типичным примером является установка «CYPRESS 128XP» фирмы «Acuson». Данная установка весит 9 кг. На рисунке 14 представлено высококачественное изображение печени человека, которое получено при помощи этой установки.

Для УЗ медицинских сканеров характерна пространственная разрешающая способность или апертура изображения. Данный параметр почти у всех установок составляет 1 см².

Имеется ряд исследовательских установок (ультразвуковые микроскопы), при помощи которых можно решить задачу визуализации рельефа поверхности ОК с высоким разрешением. В данных установках прозвучивание поверхности производится иммерсионным способом (в водяной ванне, рисунок 15). Используется высокочастотное УЗ излучение от 30 до 50 МГц, что соответствует длине волны в воде (0,05-0,03 мм).

За счет того, что длина волны короткая получается сформировать узкий пучок и сформировать детальную информацию о рельефе поверхности. Дополнительная обработка сигналов методом синтезированной апертуры помогает построить изображения с высоким фронтальным изображением. Пример изображения приведен на рисунке 15 б, он заимствован из источника.

На сегодняшний день широко развиваются работы по созданию УЗ сканеров, которые нужны для визуализации дефектов в металле. В частности, в России на предприятии, которое называется «Эхо плюс» собирается установка «Авгур-4.2». Эта установка будет применяться для контроля сварных соединений. В ее состав входит персональный компьютер (note-book) с дополнительными электронными блоками, малогабаритный двухкоординатный сканер и УЗ преобразователи.

В ходе контроля двухкоординатный сканер перемещает блок УЗ преобразователей по поверхности околошовной зоны. Происходит прозвучивание сварного соединения и запоминание сигналов, которые получаются в различных положениях преобразователей. Затем на ПК синтезируются изображения. Пример изображения дефекта в сварном соединении толщиной равной 36 мм с помощью данной установки приведен на рисунке 16.

Канадская фирма под названием «Tektrend» производят оборудование для УЗК металлов и соответствующее программное обеспечение. Также представляет большой интерес программа «ARIUS Viewer», который предназначена для синтеза дву- и трехмерных изображений по полученным данным контроля эхометодом. На рисунке 17 изображено дно алюминиевого

листа с искусственными дефектами. Толщина листа равняется 8 мм. Прозвучивание проходит прямым преобразователем с частотой 10 МГц.

Имеется также ряд похожих установок, обеспечивающих визуализацию дефектов: «IZOGRAF-4.01», «P-scan System 4», «Ultima 100+» и т.п.

Метод синтезированной аппаратуры (Synthetic Aperture Focusing Technique, или просто SAFT) по истине является общим названием целого ряда технологий реконструкции акустических изображений. Математические приемы построения изображений направлены на снижение неопределенности расположения отражателей, которые возникают из-за волновой природы излучения. Если дословно переводить название SAFT, то оно будет иметь следующий перевод: техника искусственной фокусировки апертуры. Понятно, что эхосигналы в ультразвуковой системе несут размытую и неполную информацию об отражателях. Методы SAFT применяют разную обработку эхосигналов, после которой неопределенность расположения и формы дефектов резко уменьшаются и дополнительные данные о дефектах показываются в виде двумерных и трехмерных картинах.

В ультразвуковом методе контроля выделяют два независимых метода получения информации о дефектах, этими методами являются: эхо-метод и теневой метод, и соответственно методы SAFT подразделяются на две группы.

Наибольший интерес вызывает эхометод и связанные с ним, естественно, методы синтезированной апертуры. Существует две основные разновидности методов синтеза изображений, одним из них является метод временных доменов, другой метод частотных доменов.

Первый метод использует эхосигналы, которые получены с различных направлений прозвучивания. Акустическое изображение рассчитывается так:

$$b(x, z) = \left| \sum_{x_b=x_{b1}}^{x_{b2}} \sum_{x_e=x_{e1}}^{x_{e2}} P_c(\tau_{be}) \right| \quad (4.1)$$

Величина $b(x, z)$ дает яркость изображения в плоскости координат x и z , соответственно. $P_c(\tau_{be})$ – высокочастотные ультразвуковые эхосигналы, индекс c отмечает парц преобразователей. Временный отчет эхосигнала τ_{be}

сопоставляется с точкой изображения (координаты x , z) исходя из геометрического месторасположения ультразвуковых преобразователей:

$$\tau_{be} = \frac{(r_b + r_e)}{c_l}; r_b = \sqrt{(x_b + x)^2 + z^2}; r_e = \sqrt{(x_e + x)^2 + z^2} \quad (4.2)$$

где b – номер излучателя, e – номер приемника, а x_b и x_e – координаты x излучателя и приемника, координата $z = 0$, r_b – расстояние от излучателя до точки расчета, r_e – расстояние от приемника до точки расчета и C_l – скорость продольных волн.

Формула (4.3) применяется в случае конечного числа преобразователей, когда прозвучивание происходит при помощи акустического блока, который содержит набор преобразователей. Имеет место быть и другой вариант, когда происходит сканирование блоком преобразователей по поверхности ОК. Тогда выражение примет вид:

$$b(x, z) = \left| \int_{x_{b1}}^{x_{b2}} \int_{x_{e1}}^{x_{e2}} P_c(\tau_{be}) dx_b dx_e \right| \quad (4.3)$$

Также заслуживает внимания еще один вариант метода временных доменов, который основан на вычислении корреляционных функций.

Метод временных доменов достаточно просто и легко реализуется на ЭВМ, но требует достаточно больших вычислительных затрат. Вычисление изображений в режиме реального времени таким методом может быть реализован на ЭВМ с достаточно высокой производительностью.

Метод частотных доменов, выполненный в вычислительной машине, обеспечивает самое быстрое вычисление изображения, так как там применяется алгоритм быстрого преобразования Фурье. Исходя из этого данный метод и его модификации активно применяются в медицинских УЗ сканерах.

Существует еще так называемая задача восстановления изображения. Такая процедура реконструкции изображений всегда имеет эмпирические положения, которые основаны на здравом смысле и на физической природе явления. К тому же вид изображения сильно зависит от того, какие идеи

заложены в основу синтеза, как разработчик желает показать изображение оператору.

УЗ сканер обязан правдиво выявлять и отображать дефекты, и по возможности максимально детально показывать их форму, размеры и расположение. Изображение сканера должно быть похоже на чертеж ОК с дефектами, на котором интенсивность изображения пропорциональна коэффициенту отражения. Таким образом прибор представляет оператору данные в форме, в которой ему будет проще прийти к тому или иному решению.

К дополнению, изображение на сканере должно отображать границы контролируемого объекта.

Главная проблема — это создание системы прозвучивания. В российских методиках ультразвукового метода контроля УЗ волны вводятся с поверхности околошовной зоны. При всем при этом валик усиления не снимается, а поверхность ввода ограничена. И почти единственный способ получения сигналов от дефектов в сварном соединении – прозвучивание, осуществляемое с помощью наклоненных УЗ преобразователей.

В сварном шве сигналы от дефектов получаются как и прямыми лучами преобразователя так и однажды отраженными лучами. Для правильной интерпретации дефекта в сечении шва следует знать точное месторасположение донной стенки детали. Также следует определить взаимное расположение стыкуемых деталей. В сканере должна иметься подсистема измерения геометрических размеров деталей и их взаимную ориентацию.

Разработка акустического блока – это сложная техническая задача. На рисунке 18 изображен пример прозвучивания стыкового сварного шва с помощью двух акустических блоков А и Б, с толщинами деталей 12 мм, при том, что правая деталь смещена вниз относительно левой на 3 мм и повернута на 4°. Пунктирной линией обозначена область сварного соединения, в которой производится реконструкция изображения.

5 Особенности формирования ультразвуковых сигналов от объемных отражателей в сварном шве

Рассмотрим физические закономерности формирования УЗ сигналов при построении изображений дефектов.

Для расчетов используют модель прозвучивания ОК на основе решений волнового уравнения. Такая модель решает задачи для всех эффектов в волновых процессах: излучение волн, отражение волн, интерференция и дифракция волн, трансформация типа волны или отражении, возбуждение затухающих волн и бегущих на границах раздела сплошной среды и др.

На рисунке 19 а представлено прозвучивание объемного отверстия в образце шва при помощи наклонного УЗ преобразователя. Вид эхо-сигналов изображен на рисунке 19 б.

Отражение УЗ зондирующего импульса от отражателя происходит в области, обозначенной точкой а, где поверхность отверстия перпендикулярна направлению прозвучивания. Образуется отраженный эхо-сигнал 1. Поперечные волны падают касательно к поверхности отверстия, обозначенной точкой б и происходит возбуждение волны Рэлеевского типа, которая бежит по поверхности отверстия. Эта волна непрерывно излучает вторичные поперечные волны в объем металла. Излучение происходит касательно к поверхности отверстия. Доходя до точки с Рэлеевская волна излучает вторичные волны уже в направлении к преобразователю. В конечном результате, за основным эхо-сигналом 1 образуется ряд затухающих 2,3,4. Возбуждение поверхностной волны в отверстии происходит одновременно с двух противоположных сторон б и с.

Рассмотрим пример образования эхо-сигналов от дефекта, который расположен в надкорневой зоне сварного шва. На рисунке 20 видно, что дефект одновременно прозвучивается прямыми и однажды отраженными лучами, это объясняется тем, что в область прозвучивания попадает дефект и часть донной поверхности.

В общем итоге образуется три эхо-сигнала (рисунок 20 б):

1. Прямой отраженный эхо-сигнал.
2. Эхо-сигнал, отраженный от донной поверхности и после от дефекта.
3. Эхо-сигнал, полученный однажды отраженными лучами.

У всех этих трех эхо-сигналов разная задержка, так как УЗ волны совершают различный путь в процессе их образования. В зависимости от типа дефекта может быть использован любой из трех типов образования сигналов или их комбинации.

В УЗ аппаратуре, которые нужны для визуализации дефектов, применяются многоэлементные преобразователи и блоки, которые состоят из изолированных преобразователей. Параметры УЗ поля каждого преобразователя выбирают таким образом, чтобы охватывалась область реконструкции изображения или хотя бы большая ее часть. Это получается с помощью преобразователя с широкой диаграммой направленности.

В данной работе для реконструкции распределения отражателей в каждом слое используются отраженные эхо-сигналы от перпендикулярного участка поверхности отражателя (эхо-сигнал 1, рисунок 19), т.к. его временное положение точно соответствует положению дефекта по глубине. Сигналы 2, 3, 4 будут создавать помехи при реконструкции следующего слоя. Однако в практической УЗ дефектоскопии их вклад очень мал, т.к. поверхность дефектов никогда не бывает гладкой.