

Толщинометрия с применением технологии фазированных решеток

В.А. Котлячков, Г. В. Никонова

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – Представлена структурная схема измерительного устройства для оценки параметров деталей сложной конфигурации, с применением технологии ультразвуковых фазированных решеток. Конструкция датчика с использованием технологии фазированной решетки в прецизионных толщиномерах позволяет автоматизировать измерительные процессы в производстве деталей. Для уменьшения влияния расхождения ультразвуковых волн и коэффициента затухания в изделии, в приборе применяются амплитудная селекция с изменяющимся порогом напряжения и управление амплитудой и фазой импульсов возбуждения пьезоэлементов в многоэлементном преобразователе.

Ключевые слова – толщиномер, фазированные решетки, измерение, пьезоэлемент, ультразвуковая диагностика, фокусное расстояние.

I. ВВЕДЕНИЕ

Среди методов неразрушающего контроля в машиностроении ведущее положение занимает ультразвуковой контроль, основанный на способности звуковых волн отражаться от границы раздела двух упругих сред, обладающих разными акустическими свойствами. Принцип работы приборов для ультразвуковой диагностики состоит в излучении и приеме ультразвуковых колебаний.

Одним из акустических методов неразрушающего контроля, является ультразвуковая толщинометрия. Данная методика основана на электромагнитно-акустическом способе посылки и приёма ультразвуковых колебаний, что позволяет с высоким уровнем точности определить толщину измеряемого объекта, не нанося ему при этом каких-либо повреждений

Ультразвуковая толщинометрия – высокоточный метод исследования, исключая традиционные погрешности, позволяющий оценить толщину разнообразных деталей, изделий и конструкций, сравнивая значения измеренных величин с проектными.

Принцип метода заключается в следующем. Пьезопреобразователь формирует ультразвуковую волну, которая распространяется в структуре материала. Ударяясь о границу раздела сред, волна отражается и возвращается в преобразователь. Прибор фиксирует время возвращения отраженной волны. По известной скорости ультразвуковых колебаний в материале и времени возвращения волны рассчитывается толщина в точке измерения [1].

Одним из недостатков ультразвуковой толщинометрии является неоднозначность отсчета при контроле деталей сложной формы с малым радиусом кривизны поверхности и их неэквидистантности

(неравноудаленности). Оператор не может знать положение данной поверхности относительно контактной и вынужден варьировать угловым положением датчика, чтобы в один из моментов времени падающая ультразвуковая волна была направлена по нормали к данной поверхности детали. Особенно актуально это для измерений малых толщин. Очевидно, что правильному положению датчика будет соответствовать минимальное время прихода отраженного импульса относительно момента ввода зондирующего импульса. Существующие толщиномеры (стрелочные и цифровые) не предусматривают селекцию минимального времени прихода отраженного импульса, и на этом этапе возникает погрешность отсчета толщины. В случае использования осциллографа в составе толщиномера оператор, изменяя положение излучающего датчика, ищет минимальное положение отраженного импульса на развертке относительно начала последней, что тоже не гарантирует точность отсчета вследствие субъективной оценки оператора [2].

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Решением поставленной задачи может служить применение технологии ультразвуковых фазированных решеток в конструкции толщиномера.

Главная особенность технологии ультразвуковых фазированных решеток это управляемые компьютером амплитуда и фаза импульсов возбуждения отдельных пьезоэлементов в многоэлементном преобразователе. Возбуждение пьезоэлементов может осуществляться таким образом, чтобы была возможность управлять параметрами ультразвукового луча: углом, фокусным расстоянием, размером фокусного пятна, посредством компьютерной программы [3].

Широкое применение эхо-метода в ультразвуковой толщинометрии несмотря на растущие требования практики и достигнутые в последнее время успехи сдерживается значительной сложностью электроакустической части дефектоскопической аппаратуры. Высокий уровень структурного шума материала изделий, слабая направленность ультразвуковых преобразователей, плохой акустический контакт их при использовании обычных контактных смазок заставляют использовать в такой аппаратуре многоэлементные антенные решетки с синтезированной фокусировкой [3, 4]. Проблема акустического контакта в них решена применением элементов с точечным контактом, не нуждающихся в контактных жидкостях. В результате разрешающая способность аппаратуры и минимальные размеры обнаруживаемого локального дефекта не превышают длины волны ультразвука в материале изделий. Такие, в частности, характеристики достигнуты посредством управляемой от компьютера 36-элементной антенной решетки, каждый элемент которой снабжен собственным генератором зондирующих импульсов и предварительным усилителем.

III. ТЕОРИЯ

Если поставить задачу измерения толщины конструкций, а такие случаи чаще всего и встречаются на практике, то антенную систему можно существенно упростить. Синфазное возбуждение всех элементов решетки и синфазный приём ими сигналов можно осуществить простым параллельным

соединением всех элементов между собой. В результате необходимость в поочередном возбуждении элементов и таком же переключении элементов на приём отпадёт. Вместо многоканального приёмно-передающего устройства понадобится один генератор и один приёмный тракт.

Антенная решётка может быть выполнена без встроенных генераторов и усилителей сигналов в каждом элементе, так как уровень принятого сигнала на выходе решётки будет существенно выше уровня собственных шумов и помех приёмного тракта, в отличие от случая решётки с переключаемыми элементами. Все реализации сигналов, которые в аппаратуре с синтезируемой фокусировкой, обрабатывались поочередно [4], в данном случае будут обрабатываться одновременно. Шаг расположения элементов решётки и размеры её апертуры следует выбирать исходя из радиуса корреляции структурного шума материала и требуемой чувствительности в дальней зоне, то есть точно также, как для решётки с синтезируемой фокусировкой [4].

Однако организация излучения и приёма сигналов элементами решётки может быть выполнена двумя способами: первый - все элементы излучают и затем принимают сигналы, второй - половина элементов излучает, а другая половина принимает. В первом случае решётку естественно назвать совмещённой, во втором - раздельно-совмещённой (РС), по аналогии с ультразвуковыми преобразователями [5].

В частности, потенциальное увеличение отношения сигнал/шум (структурный шум) по сравнению с парой излучатель - приёмник, равное произведению количества излучающих элементов на количество приёмных в РС решётке, при равенстве числа излучателей и приёмников будет наибольшим. При этом если измерителем выполнять зондирование дважды в каждой точке расположения антенной решётки на объекте контроля и от каждой принятой реализации сигналов использовать ту часть, которая имеет лучшее отношение сигнал/шум, то достоинства обоих типов решёток можно объединить.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Главная особенность технологии ультразвуковых фазированных решеток - управляемые компьютером амплитуда и фаза импульсов возбуждения отдельных пьезоэлементов в многоэлементном преобразователе. Возбуждение пьезоэлементов осуществляется таким образом, чтобы была возможность управлять параметрами ультразвукового луча: углом, фокусным расстоянием, размером фокусного пятна, посредством компьютерной программы.

В предложенной структурной схеме (см. рис. 1), толщиномер состоит из микропроцессорного устройства управления и вычисления (УУВ), генератора опорной частоты (ГОЧ), генератора запускающих импульсов (ГЗИ), измерителя временных интервалов (ИВИ), цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) компаратора, временного селектора, клавиатуры, жидкокристаллического индикатора и фазированного пьезоэлектрического преобразователя (ФПЭП).

В режиме излучения УУВ выдает команду на одновременный запуск ГЗИ и ИВИ. Импульс с ГЗИ поступает на ФПЭП и излучается в изделие. В режиме приема отраженный эхоимпульс, принятый ФПЭП, усиливается, подвергается

амплитудной и временной селекции и поступает в ИВИ как сигнал окончания счета импульсов ГОЧ. Полученный код на выходе ИВИ поступает в УУВ, которое после соответствующих вычислений выдает значение толщины на индикатор.

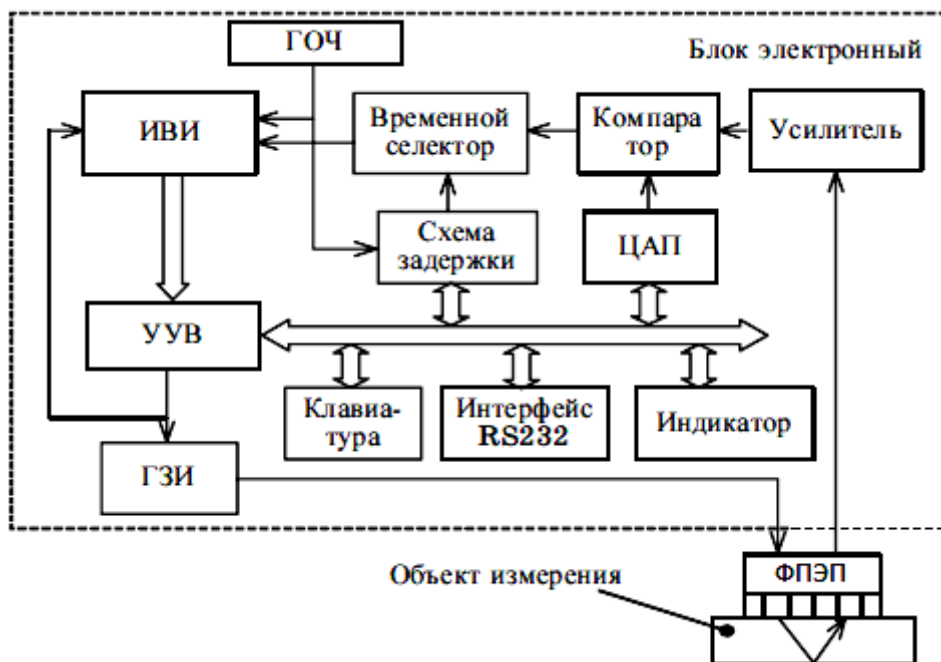


Рисунок 1 - Функциональная схема толщиномера

В режиме приема на усилитель от ФПЭП поступает последовательность импульсов: импульс, отраженный от передней грани изделия; импульсы продольной и поперечной волн, отраженных от донной поверхности изделия; импульсы переотражения в призмах ФПЭП. Вследствие малого фазового сдвига некоторые импульсы воспринимаются ФПЭП как один.

Амплитуда принятых импульсов зависит от толщины изделия, коэффициентов затухания и расхождения ультразвуковых волн в изделии, шероховатости поверхности изделия и качества акустического контакта. Для уменьшения влияния этих факторов в приборе применяется амплитудная селекция с изменяющимся напряжением порога, которая осуществляется с помощью ЦАП и компаратора. ЦАП, управляемый УУВ, определяет пороговое напряжение. Компаратор выделяет импульсы, которые превышают уровень порогового напряжения.

Временная селекция импульсов с выхода компаратора выполняется с помощью временного селектора и схемы задержки, управляемой УУВ. Временной селектор выделяет импульс продольной волны, отраженной от донной поверхности.

Измерение временного интервала производится ИВИ, который осуществляет подсчет числа импульсов ГОЧ за период времени между импульсом, отраженным от передней грани, и импульсом продольной волны, отраженным от донной поверхности. Импульс волны, отраженной от передней грани изделия, является для ИВИ импульсом начала счета импульсов ГОЧ.

Импульс продольной волны, отраженной от донной поверхности изделия, является импульсом конца счета. Измеренный временной интервал поступает в УУВ для обработки результатов измерения и формирования графической информации. При обработке результатов измерения учитывается время задержки в призме, которое считается известной величиной.

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Отличительная особенность технологии ультразвуковых фазированных решеток - в управляемых параметрах импульсов возбуждения пьезоэлементов в многоэлементном преобразователе, что дает возможность управлять параметрами ультразвукового луча программными средствами [6].

Значение скорости распространения продольных акустических волн в материале измеряемого изделия устанавливается в толщиномере с помощью клавиатуры или измеряется на образце известной толщины.

Записанный в памяти толщиномера массив данных можно перенести на персональный компьютер для анализа, обработки и использования в документации.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложена конструкция толщиномера с применением технологии фазированных решеток, которая позволяет проводить контроль деталей на автоматизированном производстве, исключая субъективные ошибки оператора при правильной установке датчика над деталями.

Таким образом, процесс измерений не зависит от субъективной оценки оператора, что повышает точность измерений. Оператору не нужно беспокоиться о правильном положении датчика - достаточно установить его на деталь, и в течение некоторого времени, за которое проходят серии из десятков тысяч циклов измерений - в регистре памяти останется значение толщины, соответствующее корректному положению датчика.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

[1] Клюев, В.В. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник / В.В. Клюев, Ф.Р. Соснин, А.В. Ковалев и др.; Под ред. В.В. Клюева. 3-е изд. испр. и доп. - М.: Машиностроение, 2005. - 656 с.

[2] Кретов, Е.Ф. Ультразвуковая дефектоскопия в энергомашиностроении: Справочник / Е.Ф. Кретов и др.; Под ред. Е.Ф. Кротова: - СВЕН, 2007.- 296с.

[3] Olympus NDT. Introduction to Phased Array Ultrasonic Technology Applications. USA, Waltham, 2007.

[4] Introduction to Phased Array Ultrasonic Technology Applications: R/D Tech Guide line. – Quebec: R/D Tech Inc., 2004. – 368 p.

[5] Самокрутов, А.А. Ультразвуковая томография металлоконструкций методом цифровой фокусировки антенной решетки. / А.А. Самокрутов, В.Г. Шевалдыкин // Дефектоскопия. 2011. № 1. С. 21 – 38.

[6] Guva, A.A. Precision thickness meter phased array / A.A. Guva, G.V. Nikonova, A.I. Shchelkanov // European Journal of Natural History. 2014. # 5. pp. 42-43.