

Секция: АКУСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ НК И ТД

Руководители секции:

Щербинский В.Г., д-р техн. наук, проф., НПО ЦНИИТМАШ, АО

Шевалдыкин В.Г., д-р техн. наук, НИИ интроскопии МНПО «Спектр»

Дымкин Г.Я., д-р. техн. наук, НИИ мостов и дефектоскопии

Секция «Акустические методы НК и ТД» была самая большая на прошедшей конференции. Она продолжалась два полных дня. В расписании было заявлено 35 докладов. К сожалению, 6 докладов не состоялись. Но и даже освободившегося времени не хватало на обсуждение сообщений.

Темы докладов очень разные. От теоретических вопросов дефектоскопии и моделирования достоверности контроля до результатов применения конкретной техники и опыта её эксплуатации. Отметим некоторые наиболее интересные и оригинальные сообщения.

В АО «ИркутскНИИхиммаш», г. Иркутск, разработан акустический прибор для поиска дефектов на внутренних поверхностях труб и различных повреждений стенок, а также посторонних предметов и отложений. Прибор зондирует трубу по воздуху, посылая в неё короткий звуковой импульс. Любой дефект стенок трубы или изменение площади её поперечного сечения вызывает отражённый импульс. По записанной эхограмме можно определить дальность до дефекта или до другой неоднородности трубы, являющейся звуковым волноводом. Возможна также оценка размеров и характера неоднородности по поляризации сигнала. Применение этого прибора наиболее эффективно в случаях, когда нет доступа к трубе снаружи, например, в пучках труб теплообменников.

В последние годы видна тенденция к созданию и внедрению распределённых систем мониторинга различных конструкций в процессе их жизнедеятельности. В частности, – это системы, встраиваемые в здания и сооружения. Одна из важнейших областей применения таких распределённых систем – это летательные аппараты. Теоретическим разработкам физических основ такой системы посвящён доклад сотрудников Института математики, механики и информатики Кубанского государственного университета, г. Краснодар. В докладе приведены результаты исследований эффектов резонансного рассеяния волн Лэмба на неоднородностях тонких пластин из металлов и слоистых композитных материалов. При импульсном возбуждении волн в пластинах в неоднородностях материала пластин возникают относительно медленно затухающие колебания на различных частотах, которые можно зарегистрировать. По частотам и формам колебаний можно идентифицировать эти неоднородности и оценивать их геометрические параметры.

Измерение реальных физических размеров дефектов в металлах – очень сложная и трудно решаемая задача. В докладе сотрудников ОАО «Радиоавионика», г. Санкт-Петербург, показана возможность решения такой задачи при ультразвуковом контроле рельсов в пути. В процессе эксплуатации в головке рельса возникают опасные трещины, которые постепенно растут и могут привести к излому рельса. Часто такие трещины могут быть под отслоением поверхности катания. В этом случае трещину обнаружить невозможно при зондировании рельса с этой поверхности. В докладе показано, что обнаружить трещину в головке под её поверхностным повреждением можно с помощью сквозного прозвучивания головки с боковых граней. Причём при использовании синхронного двумерного сканирования головки узким пучком ультразвука возможно очерчивать границы трещины, что позволяет определять её ориентацию и реальные размеры с погрешностью не более 15 %. Этот способ внедрён в практику контроля рельсов. На его основе создан прибор «АВИКОН-17».

О создании и начале эксплуатации уникального комплекса ультразвукового контроля рельсового пути было сообщено в докладе представителя АО «Фирма ТВЕМА», г. Москва. Уникальность комплекса в том, что он выполнен в виде диагностического вагона, входящего в состав обычного поезда, и контроль проводится в течение всего рейса на ско-

ростях до 140 км/час. Возможность ультразвукового контроля на такой скорости без потери достоверности реализована впервые в мире. Для этого потребовалось преодолеть несколько весьма сложных проблем. Главные из них – это обеспечение надёжного акустического контакта ультразвуковых преобразователей с поверхностью катания рельса и стабильная их центровка по оси рельса. Для анализа эхосигналов в широком динамическом диапазоне разработаны специальные алгоритмы обработки, обеспечивающие адаптивный уровень регистрации дефектов. При этом не требуется вмешательство оператора в работу комплекса во всём диапазоне скоростей движения вагона.

Результатам исследований и разработок методов высокоинформативного автоматизированного ультразвукового контроля сварного шва был посвящён доклад представителя компании «INTROSCOP NDT» SRL, г. Кишинёв, Молдова. Контроль используется в потоке производства электросварных труб большого диаметра. В докладе представлены все основные операции технологического потока производства и созданные установки контроля сварных швов и концов труб на разных стадиях процесса. Для повышения информативности контроля в установках используются устройства слежения за сварным швом и требуемой зоной контроля, помехоустойчивые способы регистрации полезных сигналов и специальные методы оценки вида обнаруженных дефектов. На основе детальных исследований процесса поточного производства труб и контроля их качества разработаны принципы построения систем автоматизированного ультразвукового контроля сварных соединений и концов труб. Созданные ультразвуковые установки внедрены в промышленное производство.

Как уже стало традиционным на конференциях по неразрушающему контролю, тематика антенных решёток и их применения в ультразвуковом контроле на нашей конференции преобладала над всеми остальными темами. Примерно треть всех докладов была ей посвящена. Эта область сейчас находится в стадии быстрого развития. Аппаратура на основе антенных решёток уже прочно вошла в практику ультразвукового контроля. И её сфера применения непрерывно расширяется.

Сотрудники компании «ЭХО+», г. Москва, представили 5 докладов, темы которых охватывают разные аспекты применения антенных решёток, устройство и возможности разработанной в «ЭХО+» системы автоматизированного ультразвукового контроля и методологию применения таких систем. Эта компания является ведущей в области теории ультразвуковой визуализации внутренней структуры непрозрачных материалов и методик применения визуализирующей аппаратуры.

Так, одно из применений антенных решёток, представленное авторами из «ЭХО+», – это толщинометрия с построением профиля внутренней поверхности изделия. Для этого используется решётка с прямой призмой, сфокусированная на номинальную толщину. При контроле криволинейных поверхностей, например, труб используется призма, притёртая к конкретной кривизне поверхности. Механическое двумерное сканирование решёткой изделия обеспечивает реконструкцию рельефа донной поверхности.

Для построения профиля донной поверхности сварного соединения используется пара антенных решёток и дифракционно-временной метод (ДВМ)¹ регистрации сигналов при электронном сканировании пространства между решётками. Ещё более информативный и точный способ толщинометрии сварного соединения основан на методе цифровой фокусировки апертуры (ЦФА)² антенных решёток. При зондировании изделия используется как совмещённая схема (элементы каждой из решёток являются излучателями и приёмниками ультразвуковых продольных волн), так и раздельная схема (одна решётка излучает сигналы, другая является приёмной). Причём при раздельной схеме используются не только продольные волны, но и сигналы поперечных волн, вызванные трансформацией

¹ В иностранной литературе метод ДВМ называют TOFD («Time of Flight Diffraction»).

² Метод ЦФА называют FMC&TFM («Full Matrix Capture & Total Focusing Method»).

при отражении волн от донной поверхности. Этот метод толщинометрии позволяет реконструировать сложную геометрию поверхности в случаях клиновидности изделия и смещения кромок сварного соединения.

Контроль сварных соединений из аустенитных и разнородных сталей наиболее сложен из-за неопределённости и анизотропии свойств металла в соединении. Для контроля таких изделий успешно используется аппаратура на основе антенных решёток. Об опыте такого контроля на атомных электростанциях и о разработанных методических документах на контроль был представлен один из докладов сотрудников компании «ЭХО+». Использовали приборы с фазированными антенными решётками (ФАР) и решётками в режиме ЦФА в сравнении с радиографическим контролем. Отмечено, что режим ЦФА даёт более высокое качество изображений, чем режим ФАР.

Ещё один доклад сотрудников компании «ЭХО+» был посвящён применению антенных решёток с адаптивным протектором. Такие решётки необходимы при контроле изделий с неровной внешней поверхностью. В случае, если отклонение профиля поверхности от плоскости превышает половину длины волны, то изображение получает существенные искажения. Для контроля по неровной поверхности можно использовать гибкие антенные решётки, разработанные за рубежом. Однако они не всегда применимы. В докладе предложено в качестве адаптивного протектора использовать локальную иммерсионную ванну. Контактующая с поверхностью изделия сторона ванны облегает все неровности изделия. В процессе контроля сначала восстанавливается профиль внешней поверхности изделия, а затем с учётом этого профиля реконструируется изображение сечения внутреннего объёма изделия. При реконструкции используется метод ЦФА. Для повышения разрешающей способности изображений антенную решётку с локальной ванной перемещают в направлении активной апертуры. Благодаря этому синтезируется апертура больших размеров, чем апертура решётки.

В докладе о системе автоматизированного ультразвукового контроля АВГУР-АРТ, разработанного в компании «ЭХО+», рассмотрены возможности системы, её устройство, режимы работы и типы сканирующих устройств, используемых в её составе. Система реализует все алгоритмы метода ЦФА, режимы ФАР и ДВМ. Возможно сочетание разных режимов и методов.

В докладе авторов книги по основам теории ФАР из АО «НПО «ЦНИИТМАШ», г. Москва, представлены практические выводы из теории и рекомендации по выбору параметров ультразвукового контроля с использованием ФАР. Исследования акустического поля решёток выполнены путём моделирования при различном количестве элементов решётки и разных их размерах. Проведено сравнение характеристик акустического поля решёток с полем одноэлементного преобразователя с размером апертуры как у решётки. При фокусировке антенной решётки в каждую точку её акустической оси зависимость амплитуды поля на оси монотонно спадает с дальностью. Поскольку нет колебаний амплитуды, понятие ближней зоны решётки не вписывается в традиционное определение. Предложено критерием границы ближней зоны считать дальность, при которой закон уменьшения амплитуды поля с ростом дальности становится мало отличающимся от обратно пропорциональной зависимости. Весьма важным выводом теории ФАР является необходимость разработки специальных норм оценки дефектов и поиска способов измерения их размеров для дефектоскопов с ФАР.

В другом докладе специалистов из АО «НПО «ЦНИИТМАШ» изложены результаты исследований акустического тракта объекта контроля с аустенитным плакирующим слоем. Наряду с применением стандартных преобразователей исследованы параметры контроля с использованием ФАР. Разработаны несколько моделей акустического тракта с разными отражателями для контроля через одно- и двух-слойную аустенитную наплавку. Изучено влияние слоя наплавки на основные параметры ультразвукового контроля. Представлены также практические результаты исследований влияния наплавки на качество изображения и измеряемые характеристики отражателей.

Представленные доклады специалистов АО «НПО «ЦНИИТМАШ» отличает целеустремлённая направленность на глубокую проработку теоретических вопросов применения ФАР в ультразвуковом контроле.

Наиболее часто ультразвуковой контроль проводят при наклонном к поверхности объекта контроля излучении поперечных волн. Для этого обычно используют антенные решётки, элементы которых расположены на клиновидной преломляющей призме, аналогично обычному наклонному преобразователю. В докладе сотрудников ООО «Акустические Контрольные Системы», г. Москва, представлена антенная решётка для наклонного ввода в объект поперечных волн, не имеющая общей преломляющей призмы. Каждый элемент этой решётки расположен на отдельной ступеньке т.н. лестничной призмы. Размеры ступенек соизмеримы с размерами элементов решётки. Пути ультразвука в ступеньках для всех элементов равны и не превышают 1,5 мм. Поэтому точки выхода элементов практически не зависят от расположения точки фокусировки решётки в объекте контроля. Температурная зависимость времени задержки сигналов в решётке мало влияет на качество изображения дефектоскопа с такой решёткой. Активная апертура решётки близка к габаритному размеру её корпуса, что является полезным свойством при контроле по неровной поверхности объекта и его малой площади доступа. В докладе изложены основные свойства таких решёток и их возможности. Следует отметить, что компания «Акустические Контрольные Системы» является пока единственной в России, выпускающей серийно ультразвуковые антенные решётки собственной разработки.

Применение антенных решёток и метода ЦФА в автоматизированном ультразвуковом контроле сварных соединений трубопроводов было представлено в докладе сотрудников ООО «АКС-Сервис» и ООО «Акустические Контрольные Системы», г. Москва. В докладе продемонстрировано действие двух сканирующих систем. Одна для контроля сварного соединения с внешней поверхности трубы, другая для внутритрубного контроля. Изложен принцип построения и устройство этих систем, содержащих несколько антенных решёток, а также лазерно-оптических и прочих датчиков, расположенных на транспортной платформе (сканере). Используется несколько методов ультразвукового контроля при перекрёстном зондировании шва и околошовной зоны. Слежение за швом и корректировка курса сканирования производится с помощью лазерно-оптической системы, обеспечивающей также измерение смещения кромок шва. Оценка несплошностей проводится с помощью АРД-диаграммы для метода ЦФА. Автоматически определяется тип дефекта. Связь терминалов оператора со сканерами происходит по радиоканалу. Система внутритрубного контроля может удалаться от места её загрузки на расстояние до километра в прямых участках трубопровода, а при заходе в отводы – до 100 – 300 м.

Доклады по тематике антенных решёток, наряду с оригинальностью, новизной и практической значимостью грешат, к сожалению, отсутствием единства терминологии. Несмотря на уже более чем пятнадцатилетний период интенсивного использования антенных решёток в ультразвуковом контроле этого единства нет. Причина такого состояния, по-видимому, в ущербности и недостаточной полноте терминологических стандартов, принятых в России и за рубежом. Отсутствие многих общеупотребительных и понятных всем терминов в области ультразвуковых антенных решёток может тормозить развитие и применение этой техники.

Акустическая секция конференции, несомненно, обогатила копилку теоретических знаний и практических навыков ультразвукового контроля всех участников конференции, присутствующих на заседаниях. Сборник трудов конференции даёт такую возможность и тем, кто не смог присутствовать в зале.

Отчет предоставил Шевалдыкин В.Г.