

Лекция 13

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ПРИ КОНТРОЛЕ ЭХО-МЕТОДОМ

УЗ-дефектоскопия эхо-методом, как и любым другим методом, включает в себя четыре основным этапа:

1. Обнаружение дефекта.
2. Определение координат и размеров дефекта.
3. Классификацию дефекта.
4. Оценка степени опасности дефекта.

Рассмотрим эти этапы:

1. Обнаружение дефекта. Обнаружение связано с выявлением эхо-импульсов, отсутствующих в заведомо исправных изделиях. Для этого требуется априорная информация о характере отраженных импульсов, которую накапливают расчетными или экспериментальными методами на моделях или натуральных объектах.

Для каждого вида ожидаемых дефектов определяют оптимальные условия контроля, обеспечивающие наибольшую вероятность их обнаружения.

При этом необходимо обеспечить:

- прозвучивание всего объема изделия;
- технологичность контроля, то есть возможность реализации методики контроля простыми средствами при наименьших затратах.

Выполнение этих требований определяется:

1. Обоснованным выбором типа и частоты УЗ-волн.
2. Выбором направлений прозвучивания и схемы сканирования.

При выборе типа и длины (частоты) УЗ-волн руководствуются следующими правилами.

Продольными волнами контролируются главным образом изделия правильной геометрической формы – листы, трубы, бруски и т.д. С помощью этих волн хорошо обнаруживаются дефекты, ориентированные параллельно поверхности изделия – расслоение проката, плоские протяженные дефекты в толстых изделиях. За счет малого затухания эти волны применяются для контроля крупногабаритных изделий толщиной 1 м и более, а также изделий из крупнозернистых материалов, в том числе наплавленного металла аустенитного класса сварных соединений.

Наибольшая, по сравнению с другими волнами, скорость продольных волн ограничивает их применение для контроля тонкостенных изделий. Минимальная толщина контролируемого изделия определяется мертвой зоной. Для отечественных серийных дефектоскопов и совмещенных преобразователей составляет около 20 мм.

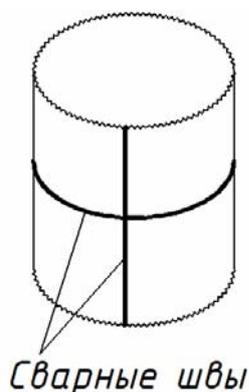
Благодаря возможности ввода **поперечных волн** в изделие под большими углами с их помощью можно контролировать изделия довольно сложной формы. Кроме того, варьируя в широких пределах угол ввода, с помощью поперечных волн можно реализовать оптимальные направления прозвучивания и выявить дефекты, расположенные под углом к поверхности контролируемого объекта.

Выбирая **частоту** и, соответственно, **длину** волны прозвучивания, следует стремиться обеспечить выполнение условия $d/\lambda > 1$, где d — размер выявляемого дефекта. Чем больше это отношение, тем интенсивнее отраженный сигнал. С этой точки зрения предпочтительнее использовать поперечные волны, длина которых примерно в два раза меньше длины продольных волн

$$\lambda_t = c_t / f, \quad \lambda_l = c_l / f.$$

Это правило работает, если речь идет о контроле изделий с мелкозернистой структурой. При большом размере зерна становится существенным затухание, которое выше у поперечных волн, так что возможности продольных и поперечных волн выравниваются.

Направление прозвучивания выбирают, прежде всего, из соображений надежного обнаружения характерных для контролируемого изделия дефектов. Для этого набирается статистика о наиболее вероятных дефектах и месте их расположения. Такой анализ позволяет выявить слабые места конструкции, на которых следует обратить внимание в первую очередь. Например, в сварных сосудах это место пересечения продольных и кольцевых швов, подверженных знакопеременным нагрузкам.



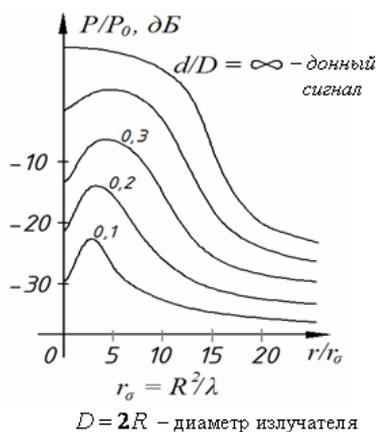
Направление прозвучивания выбирают с учетом преимущественной ориентации типичных для данного изделия дефектов. С учетом перечисленных факторов разрабатывается схема сканирования объекта.

2. Определение координат и размеров дефекта. Координаты определяют по времени прихода отраженных импульсов и координатам положения излучателя и приемника. Размеры — по амплитуде отраженных импульсов.

Для того чтобы определить размеры дефекта требуется соответствующая настройка и градуировка аппаратуры. Для проведения градуировки используют либо реальные изделия с искусственными дефектами — сверлениями, пазами, либо модели изделий с такими дефектами.

Если размер дефекта больше длины волны, то амплитуды отраженных сигналов от искусственных и естественных дефектов одинаковы. Это свойство используют для предварительной настройки дефектоскопа.

Общепринятым для настройки эхо-дефектоскопов является применение искусственных отражателей в виде цилиндрических и плоскостных сверлений. По эхо-сигналам от этих отражателей устанавливают необходимые уровни усиления и дискриминации сигналов. Для определения размеров дефектов используют диаграммы (АРД-диаграмма) — «амплитуда – расстояние – диаметр».



Эти диаграммы характеризуют ослабление амплитуды отраженных сигналов от плоскостных отверстий различного диаметра d . Расстояние от преобразователя до отражателя выражается в относительных единицах. За единицу принят размер ближней зоны плоского излучателя. Определив отношение отраженного и излучаемого сигнала и зная расстояние до отражателя, по диаграмме определяют размер дефекта.

АРД-диаграммы используются также для установки необходимой чувствительности дефектоскопа с учетом затухания УЗ-колебаний.

3. Классификация дефекта. Классификация заключается в отнесение дефекта к тому или иному типу — трещина, включение, непровар, пора и т.д.

Задача классификации относится к разряду задач, которые решаются методами теории распознавания образов. Для классификации дефектов после его обнаружения необходимо получить дополнительную информацию о нем. Для этого изучают изменение информативных признаков эхо-сигнала при изменении условий контроля: положения преобразователей, угла ввода УЗ-волн, частоты УЗ-волн и др. Например, трещину можно отличить от объемного дефекта — поры, включения, по более направленному отраженному акустическому пучку. Из-за этого эхо-сигналы будут обнаружены в меньшей по размеру зоне на поверхности объекта контроля.

4. Принятие решения о степени опасности дефекта. Принятие решения базируется на заключении о его характере, местоположении и размерах, напряженно-деформированном состоянии контролируемого объекта, а также на представлениях физики прочности об опасности дефектов такого рода.

При недостаточной достоверности или точности результатов УЗ-контроля необходимо провести повторный контроль, причем, если возможно, другими независимыми методами, например, радиографией, вихретоковыми методами или их совокупностью.

Помехи при контроле эхо-методом

Для достижения наилучших результатов при контроле эхо-методом необходимо устранить помехи и шумы, мешающие контролю.

Различают следующие виды помех:

1. Электрические.
2. Акустические.
3. Помехи приемника дефектоскопа.
4. Шумы преобразователя.
5. Структурные помехи.
6. Ложные сигналы.

Электрические и акустические помехи. Характерной особенностью этих помех является случайность появления их во времени.

Электрические помехи связаны с работой контактных устройств (электромагнитных реле), сварочной аппаратуры и т.д.

Акустические помехи возникают в результате трения или ударов по контролируемому объекту. Например, абразивная крошка, попадающая между преобразователем и изделием, возбуждает высокочастотные сигналы, регистрируемые дефектоскопом. Механические удары о контролируемый объект, шумы работающих механизмов и т.д.

Способы борьбы с этими помехами:

1. Экранировка прибора — при наличии электрических помех.
2. Если электрические и акустические помехи достаточно редки, то эффективный способ устранения — улавливание помех отдельным датчиком — антенна или преобразователем, и отключение (запирание) на время действия помехи приемного тракта дефектоскопа.
3. Стробирование по времени прихода эхо-сигнала.
4. Регистрация сигналов, регулярно повторяющихся при каждой посылке зондирующих импульсов, что, вообще говоря, снижает производительность контроля.

Помехи приемника дефектоскопа. Связаны с электрическими шумами элементов усилительного тракта — собственные шумы усилителя. Это, как правило, тепловые шумы, описываемые формулой Найквиста

$$\overline{U}^2 = 4RkT \Delta f .$$

Для УЗ-дефектоскопа $R = 20$ Ом — входное сопротивление пьезопластины; $\Delta f = 0,5$ МГц; $T = 300$ К, тогда

$$U_1 = \sqrt{\overline{U}^2} = 5 \cdot 10^{-6} \text{ В} .$$

Электрические шумы усилительного тракта составляют $U_{max} \approx 5 \cdot 10^{-5} \text{ В}$, то есть $U_1 \ll U_{max}$, поэтому для устранения этих шумов применяют традиционные методы, используемые в электронике. Эти шумы препятствуют беспредельному увеличению коэффициента усиления приемника и ограничивают чувствительность дефектоскопа. Наиболее простой способ повышения помехоустойчивости — увеличение амплитуды зондирующих импульсов.

Шумы преобразователя. Источником шума преобразователя является многократное отражение ультразвуковых волн в пьезоэлементе, протекторе, в слое контактной жидкости, призме и других элементах преобразователя. В результате происходит затягивание зондирующего импульса. О способах уменьшения этого вида помех мы уже говорили в разделе, посвященном конструкции преобразователей.

Структурные помехи. Структурные помехи связаны с рассеянием УЗ на структурных неоднородностях, зернах материала. Их часто называют структурной реверберацией. Сигналы, образовавшиеся в результате рассеяния УЗ на различных неоднородностях, приходят к приемнику в один и тот же момент времени, в результате чего происходит их сложение. В зависимости от фаз отдельных сигналов они либо взаимно усиливаются, либо ослабляются. Таким образом, вследствие случайного соотношения фаз сигналов структурные помехи имеют вид отдельных, довольно четких импульсов, на фоне которых затруднено выявление дефектов. Отличительной особенностью структурных помех является наличие большого количества импульсов на всей линии развертки дефектоскопа или на значительном ее участке. Их часто называют «травой». Эти сигналы быстро меняют свое положение, появляются или исчезают при небольших перемещениях преобразователя. Дефектоскопом регистрируется абсолютная величина амплитуды сигналов, в том числе отраженных от структурных неоднородностей материала.

Если \bar{I}_n – средняя интенсивность сигнала помех, то случайное соотношение фаз сигналов, при наличии структурных неоднородностей, вызывает значительное отклонение интенсивности от среднего уровня, которую можно охарактеризовать среднеквадратическим отклонением $\sqrt{\Delta I^2}$:

$$\Delta I_n^2 = \overline{(I_n - \bar{I}_n)^2} = \bar{I}_n^2 - \bar{I}_n^2.$$

Интенсивность помех подчиняется распределению Релея, для которого справедливо соотношение

$$\sqrt{\Delta I_n^2} = \bar{I}_n.$$

Это соотношение используется при числе рассеивающих центров $n > 10$, что справедливо для $\lambda > \bar{D}$, где \bar{D} — средний размер зерна.

Для надежной регистрации сигнала, отраженного от дефекта, на фоне помех необходимо, чтобы их интенсивность в 2 раза превышала величину

$$\bar{I}_n + \sqrt{\Delta I_n^2} = 2\bar{I}_n,$$

то есть $I_{\text{деф}} \geq 4\bar{I}_n$. Переходя к амплитуде сигнала A_n , так как $A \sim \sqrt{I}$, получим соотношение

$$A_{\text{деф}} > 2A_n.$$

Амплитуду сигнала от ложных помех можно оценить по формуле

$$A_n = A_0 / 2r \sqrt{\delta_p c \tau S_0 / 2\pi} e^{-2\delta r},$$

где S_0 — площадь преобразователя; c — скорость УЗ-волн; τ — длительность импульса; δ_p — коэффициент рассеяния; δ — коэффициент затухания; A_0 — амплитуда зондирующего сигнала; r - расстояние. Оценив амплитуду помех по этой формуле, можно определить минимальную амплитуду сигнала, отраженного от дефекта и, следовательно, предельную чувствительность данного метода контроля — минимальный размер выявляемого дефекта.

Необходимо отметить, что достаточно точных формул для расчета структурных помех с учетом многократного рассеяния УЗ-волн на неоднородностях не существует. Поэтому многие вопросы об уровне структурных помех решаются экспериментально.

Эффективными методами выявления структурных помех и обнаружения на их фоне сигналов от дефектов являются методы, основанные на анализе отраженных сигналов при изменении параметров излучаемой акустической волны:

- длительность зондирующего импульса;
- ширины диаграммы направленности;
- частоты сигнала.

В частности, наиболее результативным методом очистки от структурных помех признан метод, основанный на изменении частоты зондирующего импульса. Частоту заполнения изменяют на некоторую величину от посылки к посылке. Это вызывает сильное изменение структурных помех, так как $\delta_{pac} \sim f^n, n = 2...4$, и значительно меньшее изменение эхо-импульса от дефекта. При этом положение импульсов, соответствующим структурным помехам («травки») на экране электронно-лучевой трубки сильно изменяется, а местоположение эхо-импульса, отраженного от дефекта, практически не меняется. Таким образом, удастся выделить сигнал, отвечающий дефекту.