

## Лекция 16

### Методика дефектоскопии изделий

Ультразвуковой контроль отличается многообразием методов, типов используемых волн и широким диапазоном применяемых частот. Реализация больших возможностей УЗ-методов применительно к дефектоскопии конкретных изделий зависит от правильной организации контроля, то есть от методики контроля.

Методика контроля включает следующие основные моменты:

1. Выбор метода контроля.
2. Выбор типа волн, и определение оптимального угла их ввода и направления прозвучивания.
3. Выбор способа введения УЗ-волн в изделие.
4. Подготовка изделий к контролю.

К этапу подготовки относятся:

- формулирование требований к шероховатости поверхности;
- разделение больших изделий на зоны для последовательного контроля.

*Требования к поверхности изделия.* От качества поверхности изделий зависит стабильность акустического контакта, что определяет

- надежность обнаружения дефектов;
- точность измерения размеров дефектов.

1. Неровности поверхности высотой менее  $0,1\lambda$  мм не влияют на качество акустического контакта при контактном и иммерсионном способах ввода колебаний в контролируемый объект.

2. Малая шероховатость (полировка) в определенной степени является отрицательным фактором, так как перемещающийся преобразователь стирает смазку, поэтому его приходится приподнимать над поверхностью.

3. Регулярные неровности, например, риски, глубиной более  $0,1\lambda_{ж}$ ,  $\lambda_{ж}$  — длина волны в жидкости, возникающие при механической обработке, играют роль дифракционной решетки и вызывают появление дополнительных, помимо лепестков диаграммы направленности, интенсивных боковых лепестков и уменьшают амплитуду в направлении прозвучивания.

Это приводит к

- уменьшению чувствительности;
- ошибкам в определении координат дефекта.

Этот эффект существенно увеличивается, если период шероховатости совпадает с  $\lambda_{ж}$ , что необходимо учитывать при выборе частоты контроля.

4. Окалина, некоторые виды красок и грубые нерегулярные неровности изменяют направление ввода УЗ-волн, вызывают эффект фокусировки и разфокусировки, вызывают дифракционное рассеяние. Необходима зачистка поверхности, причем поверхность лучше зачищать не цилиндрической, а торцевой поверхностью шлифовального круга.

В таблице в обобщенной форме приведены рекомендации по выбору методов контроля и особенностях их применения для дефектоскопии технических объектов различного назначения. Кроме того, в таблице приведены рекомендации по выбору типов акустических волн для контроля указанными методами.

### Рекомендации по выбору активных акустических методов контроля

Метод	Область применения	Особенности
Эхо-метод	Предпочтителен при контроле металлов	Высокая чувствительность и помехозащищенность.
Теневой	Простая форма изделий (пластины, трубы, оболочки небольшой толщины), материалы со сложной неоднородной структурой	Отсутствие мертвой зоны контроля, возможность контроля изделий с большим затуханием УЗ-волн.
Зеркально-теневой	Контроль вертикальных неблагоприятно расположенных дефектов, не дающих обратного отражения, но ослабляющих донный сигнал.	Односторонний доступ к изделию.
Эхо-зеркальный	Контроль вертикальных дефектов, дающих обратный сигнал.	Односторонний доступ к изделию.
Временной теневой	Контроль неоднородных, крупнозернистых материалов (бетон, огнеупоры).	Высокая помехоустойчивость за счет снижения частоты контроля.
Реверберационный	Контроль сложных, склеенных конструкций из разных материалов (например, металл-пластик).	Высокая помехоустойчивость, так как регистрируется длительность затухающего УЗ-импульса.
Резонансный метод и метод свободных колебаний 1. Локальный 2. Интегральный	Контроль и измерение толщин, контроль материалов со сложной неоднородной структурой. Контроль изделий небольших размеров, абразивный инструмент, лопатки турбин, двигателей, трубки и т.д.	Высокая точность измерения толщины. Высокая чувствительность, простота реализации.

### Рекомендации по выбору типов акустических волн

Тип волн	Условия применения	Особенность применения
<p>1. Объемные волны:</p> <p>а) продольные</p> <p>б) поперечные</p>	<p>Контроль массивных изделий, выявление дефектов в толще и вблизи поверхности изделий.</p> <p>Если необходимо ввести УЗ параллельно или под небольшим углом к поверхности; если необходимо увеличить длину волны при контроле крупнозернистых материалов.</p> <p>Если необходим угол ввода больше <math>35^\circ</math> (<math>\beta &gt; \beta_{кр}</math>); если необходимо уменьшить длину волны, чтобы повысить чувствительность контроля.</p>	<p>Выбор угла ввода и направления прозвучивания определяется:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- обеспечением полноты прозвучивания изделия;</li> <li>- обеспечением максимального отражения от наиболее опасных и частовстречающихся дефектов;</li> <li>- обеспечением минимального уровня помех.</li> </ul>
<p>2. Поверхностные волны</p>	<p>Обнаружение дефектов, выходящих на поверхность или залегающих на глубине не более длины поверхностной волны и на расстоянии не более 2...3 м от точки ввода.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Следуют изгибам поверхности изделий <ul style="list-style-type: none"> <li>- на выпуклой поверхности происходит увеличение скорости;</li> <li>- на вогнутой поверхности происходит уменьшение скорости.</li> </ul> </li> <li>2. Если поверхность контактирует с жидкостью, то скорость поверхностных волн уменьшается.</li> <li>3. Поверхность должна иметь малую шероховатость (<math>R_a \geq 2 \text{ мкм}</math>), очищена от грязи, окалины и следов масла. Смазка наносится только в область ввода волн.</li> <li>4. Убывают с расстоянием <math>\sim L^{-0,5}</math> от источника излучения.</li> </ol>
<p>3. Подповерхностные (головные) волны. (Возникают при углах ввода, равных критическим углам)</p>	<p>Контроль дефектов, не выходящих на поверхность на глубине 2...10 мм (контроль изделий с защитными покрытиями), на расстоянии 0,3...0,5 м от точки ввода</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Не следует изгибам поверхности объекта, распространяться прямолинейно (в отличие от поверхностных), не давая отражения от дефектов глубиной до 1,5 мм.</li> <li>2. Характеризуются общим высоким уровнем помех.</li> <li>3. Убывают с расстоянием <math>\sim L^{-1,7}</math> от источника.</li> <li>4. Контроль эхо-методом.</li> </ol>

Таблица (окончание)

<p>4. Нормальные волны в пластинах и оболочках.</p>	<p>Контроль дефектов в пластинах, оболочках, трубах, ориентированных перпендикулярно и вдоль направления распространения волн (в отличие от объемных волн).</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Для контроля применяют низшие моды.</li> <li>2. Групповая скорость зависит от произведения <math>fH</math> (<math>H</math> - толщина объекта).</li> <li>3. Слабо затухают в мелкозернистых материалах, уменьшение амплитуды связано с дифракционным рассеянием пропорционально <math>L^{-0,5}</math>.</li> <li>4. При излучении коротких импульсов из-за дисперсии происходит размытие импульса.</li> <li>5. Не выявляются дефекты, расположенные в узловых плоскостях, поэтому контроль проводят с использованием нескольких мод.</li> <li>6. Контроль эхо-методом при иммерсионном способе ввода УЗ-волн.</li> </ol>
---	---	--

## Методы контроля физико-механических свойств материалов

Акустические методы контроля физических характеристик материалов основаны на взаимосвязи характеристик материала с информативными параметрами акустических волн и резонансных колебаний, возбуждаемых в исследуемых образцах.

Различают методы контроля, основанные на регистрации параметров

- бегущих волн,
- стоячих волн или колебаний.

В случае использования бегущих волн информативными параметрами являются:

- 1) скорость распространения волн;
- 2) коэффициент затухания;
- 3) акустический импеданс.

При использовании колебаний информативными параметрами являются:

- 1) частота собственных или резонансных колебаний;
- 2) добротность колебаний (или обратная ей величина — внутреннее трение);
- 3) амплитуда колебаний;
- 4) вид частотного спектра собственных или резонансных колебаний.

В таблице приведен перечень свойств материалов, которые можно исследовать с помощью акустических волн и колебаний. В скобках указана предельная погрешность определяемых свойств с помощью резонансных колебаний. Немаловажное достоинство этих методов заключается в том, что определение и контроль свойств можно проводить на образцах малых размеров в экстремальных условиях — высокие и низкие температуры, воздействие электрических и магнитных полей и ионизирующего излучения, в том числе в эксплуатационных условиях ядерных реакторов.

### Свойства материалов, исследуемые и контролируемые акустическими методами

Свойства	Бегущие волны	Колебания
Скорость упругих волн	+	+ (0,1%)
Характеристики упругости ( $E$ , $\nu$ , $G$ )	+	+ (0,2%)
Анизотропия характеристик:		
упругости;	+	+ (0,5%)
пористости;	+	+ (5%)
прочности	+	–
Твердость (статическая, динамическая)	+	+ (2,5%)
Длительная твердость	–	+ (10%)
Характеристика ползучести	–	+ (15%)
Величина зерна	+ (1 балл)	+
Теплоемкость	–	+ (5%)
Температуропроводность	–	+ (6%)
Коэффициент теплоотдачи	–	+ (8%)
Теплопроводность	–	+ (10%)
Внутреннее трение	+	+ (10%)
Параметры диффузии в твердых телах	–	+
Дислокационная структура	–	+
Фазовые превращения первого и второго рода	+	+