

Лекция 14

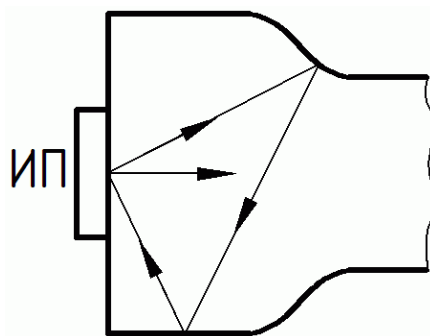
Ложные сигналы

Ложные сигналы возникают в результате отражения УЗ-волн от выступов, отверстий и других элементов конфигурации изделий. Эти сигналы мешают выявлению дефектов лишь в определенных зонах изделия, не влияя на общий уровень чувствительности.

Однако, как правило, именно в этих областях часто возникают дефекты из-за концентрации напряжений вблизи этих элементов поверхности.

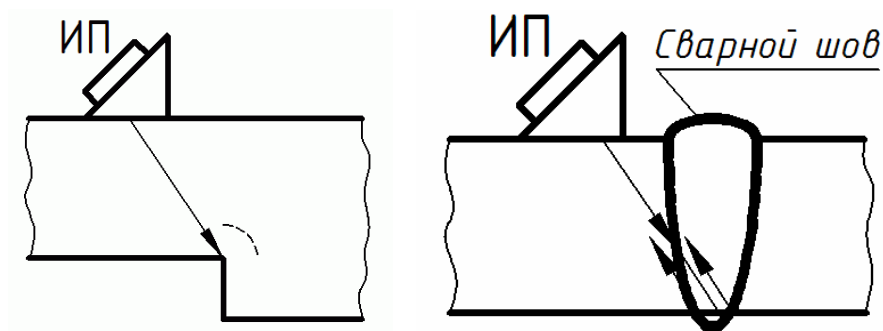
Типичные виды ложных сигналов

1. Наиболее часто встречающийся вид ложных сигналов — отражение от участков объектов с изменяющимся поперечным сечением, например, гантелей, валиков усиления сварного шва и т.д.

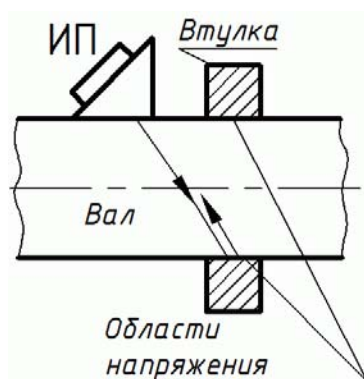


В случае отражения продольных волн возникают поперечные волны, которые при повторном отражении вновь трансформируются в продольные волны и вызывают появление дополнительных ложных сигналов. Поперечные волны при падении на поверхность под углом больше второго критического не трансформируются в продольные и ложных сигналов не возникает. Поэтому длинные изделия с малым сечением лучше контролировать поперечными, а не продольными волнами.

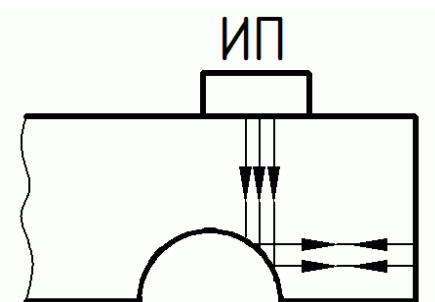
2. Ложные сигналы могут возникать в результате незеркального отражения ультразвука, например, при дифракционном рассеянии на ребре двухгранного угла. При этом возникают краевые волны, амплитуда которых зависит от формы поверхности вблизи ребра: чем резче изменение профиля, тем больше амплитуда краевых волн.



3. Ложные сигналы наблюдаются также при наличии локально напряженных зон в изделии. Возникновение этих волн связано с изменением скорости звука в напряженных зонах изделия.

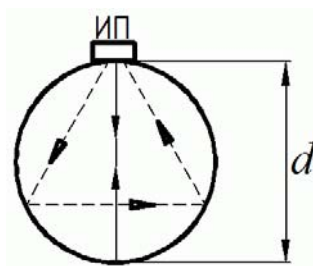


4. При контроле продольными волнами изделий с отверстиями или выточками на боковой поверхности будут наблюдаться ложные сигналы в результате двойного отражения от отверстия и боковой поверхности. Эти отражения могут быть приняты за дефекты.



5. При контроле продольными волнами цилиндрических изделий по боковой поверхности помимо данного сигнала, будут наблюдаться сигналы, испытавшие двукратное отражение от стенок цилиндра. Сигнал, соответствующий отражению продольной волны без трансформации, будет наблюдаться на расстоянии $1,3d$, а сигнал, соответствующий транс-

формации продольной волны в поперечную, а затем опять в продольную на расстоянии $1,67d$ — данные приведены для стали. Эти сигналы приходят после донного сигнала.



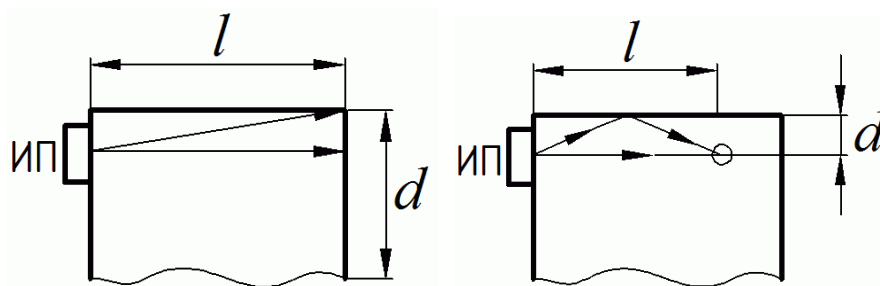
6. Ошибки при определении амплитуды эхо-сигнала. При контроле длинных изделий небольшого поперечного сечения сигнал, отраженный от двугранного угла может суммироваться с донным и изменять его амплитуду. Это произойдет, если разность путей до двух указанных отражателей будет меньше длительности импульса τ .

Чтобы этого не произошло необходимо выполнение условия:

$$2\left(\sqrt{l^2 + d^2} - l\right)/c_l \geq \tau,$$

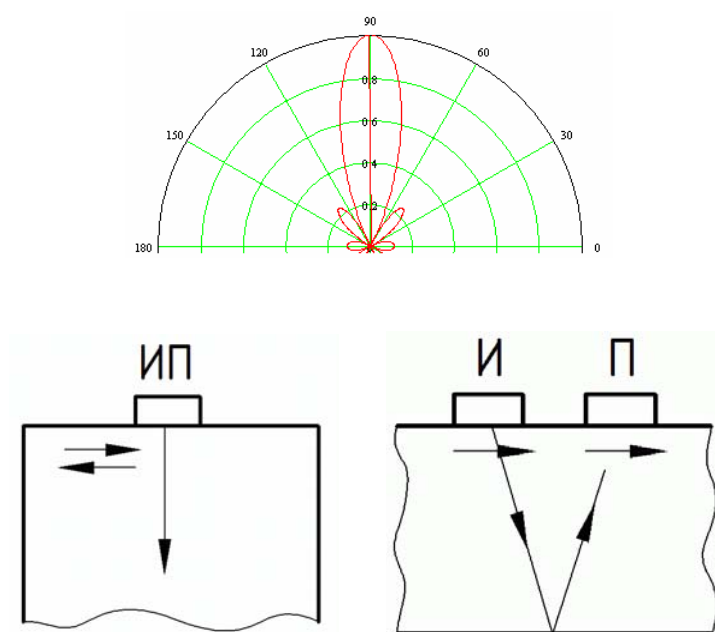
при $l \gg d$ условие имеет вид $d \geq \sqrt{\tau c_l l}$. При $c_l \tau = 4\lambda_l$ получим $d \geq 2\sqrt{l\lambda_l}$. В этом случае будут суммироваться сигналы, непосредственно отраженные от дефекта, и сигнал, однократно отраженный от стенки изделия и дефекта и вернувшийся назад к преобразователю. Условие отсутствия интерференции $d \geq 1,4\sqrt{l\lambda_l}$.

Неучет интерференционных явлений приводит к тому, что амплитуда эхо-сигнала не монотонно убывает с расстоянием. В результате зависимость амплитуды от расстояния, снятая на отрезках с дефектами при различном их положении, не совпадает с кривыми АРД-диаграммы.



7. Специфические ложные сигналы, связаны с поверхностной волной, возбуждаемой боковыми лепестками диаграммы направленности. В данном случае сигналы возникают в результате отражения от краев изделия. При контроле раздельно-совмещенным преобразова-

телем ложный сигнал возникает в результате прохождения поверхностной волны от излучателя к приемнику.



Способы выявления ложных сигналов

Эффективный способ выделения ложных сигналов основан на изменении их амплитуды при нажатии пальцем или тампоном, смоченным маслом, на точку, в которой отражается или через которую проходит луч, вызывающий ложный сигнал. При этом изменяются условия прохождения волны, что регистрируется по изменению амплитуды колебаний ложных сигналов.

Таким образом, хорошо демпфируются поверхностные волны, несколько хуже поперечные, еще хуже продольные. Практически не реагируют на сжатие поперечные волны, падающие не демпфируемую поверхность перпендикулярно.

Время прихода ложных сигналов от поверхностных волн сильно зависит от перемещения преобразователя относительно края изделия или излучателя и приемника относительно друг друга.

Предельная чувствительность эхо-метода

Предельная чувствительность эхо-метода характеризуется минимальным размером дефектов того или иного типа — трещина, пора, уверенно выявляемых в изделиях или соединениях.

Ее мерой служит площадь S_b (мм^2) отверстия с плоским дном, ориентированного перпендикулярно акустической оси преобразователя. Предельную чувствительность определяют экспериментально. Для этого отверстия выполняют на заданной глубине — максимальной глубине контроля, в образцах из материала контролируемого объекта. При этом чистота и кривизна поверхности образца должна соответствовать поверхности контролируемого объекта. Амплитуду, отраженного от дефекта импульса $A_{\text{деф}}$ можно оценить по формуле

$$A_{\text{деф}} = A_0 \left(2S_{\text{деф}} / \lambda^2 r \right) \sqrt{2\pi S_{\text{П}} / \delta_p c \tau}, \quad (1)$$

где A_0 — амплитуда зондирующего импульса; $S_{\text{деф}}$ — эффективная площадь дефекта; λ — длина волны; r — расстояние от преобразователя до дефекта; $S_{\text{П}}$ — площадь преобразователя; δ_p — коэффициент рассеяния волн; c — скорость волн, используемых для контроля; τ — длительность зондирующего импульса.

Предельную чувствительность можно определять по отражателям другого типа, выполняя пересчет на площадь плоскодонного отверстия по соответствующим формулам.

Предельная чувствительность ограничивается двумя факторами:

- чувствительностью аппаратуры A_{min} — минимальный акустический сигнал, регистрируемый аппаратурой, величина которого определяется уровнем собственных электрических шумов усилительного тракта дефектоскопа;
- уровнем помех.

Для увеличения предельной чувствительности аппаратуры увеличивают:

- амплитуду зондирующего сигнала;
- коэффициент усиления усилителя.

Основными помехами, препятствующими контролю и снижающими предельную чувствительность, являются структурные помехи.

Для уменьшения структурных помех необходимо:

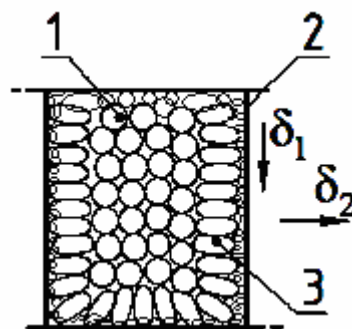
- 1) оптимальным образом подобрать направление прозвучивания;

- 2) правильно выбрать тип ультразвуковых волн, используемых для контроля;
- 3) оптимальным образом выбрать длительности и частоту зондирующих ультразвуковых импульсов.

Факторы, определяющие предельную чувствительность эхо-метода

Рассмотрим, как влияют указанные факторы на предельную чувствительность контроля.

1. *Выбор направления прозвучивания* имеет существенное значение, если структура материала объекта контроля обладает преимущественной ориентацией кристаллов. Оптимальным является направление, вдоль которого имеется минимальное изменение упругих свойств и которое соответствует минимальным размерам структурной неоднородности. Например, при контроле сварных швов этот вопрос имеет важное значение, если в сварном шве имеется дендритная структура. Затухание поперек зерен меньше, чем вдоль, а минимальное затухание имеет место под углом 45° к оси кристаллов.



1 – область равноосных кристаллов; 2 – мелкозернистая корка, дендриты; 3 – зона столбчатых кристаллов

2. *Выбор типа волн, используемых для контроля.* Основное правило, которым руководствуются при выборе типа волн, — это обеспечение минимального значения коэффициента рассеяния δ_p . Проанализируем соотношение (1). В него входит множитель $c\delta_p$. У продольных волн коэффициент рассеяния δ_{pl} меньше, чем коэффициент рассеяния поперечных волн — δ_{pt} . Но так как $c_l > c_t$, то для получения максимальной чувствительности выбирают тот тип волн, для которого значение произведения $\delta_p c$ минимально.

Для повышения отношения A_{def}/A_0 в материалах с большой структурной неоднородностью рекомендуют применять *поляризованные поперечные волны*. Это связано с тем,

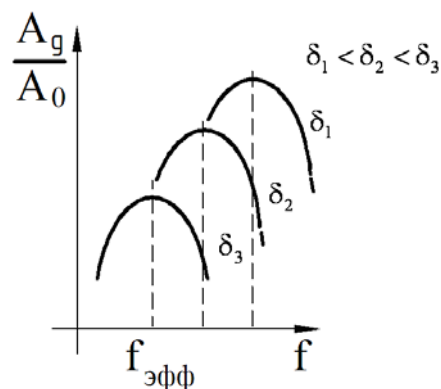
что при отражениях от границ зерен плоскость поляризации изменяется хаотично и достаточно сильно, чем при однократном отражении от дефекта. Поэтому если приемник регистрирует волны той же поляризации, что и излученные, то таким образом можно увеличить отношение сигнал-помеха.

3. Выбор частоты и длительности зондирующего импульса

Уменьшение длительности зондирующего импульса τ повышает отношение сигнал-помеха. Однако при уменьшении τ расширяется спектр сигнала, так как $f_{\max} \sim 1/\tau$, причем высокочастотная часть спектра быстро затухает $\delta_n, \delta_p \sim f^n, (n = 2...4)$. В результате амплитуда зондирующего импульса уменьшается, что приводит к уменьшению амплитуды отраженного от дефекта сигнала. Поэтому с целью получения максимальной чувствительности рекомендуется использовать импульсы колоколообразной формы подобной кривой Гаусса.

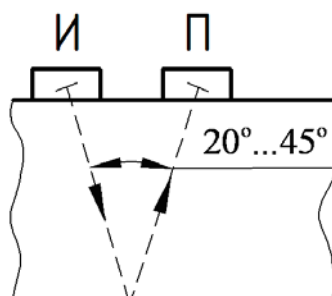
Предельная чувствительность зависит от частоты УЗ-волн f , толщины изделия и коэффициента затухания δ_z , причем отношение $A_{\text{деф}}/A_0$ растет с увеличением частоты, так как с уменьшением отношения λ/d , где d — размер дефекта, возрастает доля отраженной от поверхности дефекта энергии волны и увеличивается направленность отраженного сигнала. Однако при возрастании частоты растет и коэффициент затухания δ_z , а также уровень структурных помех, что в конечном итоге приводит к уменьшению чувствительности.

В результате зависимость отношения $A_{\text{деф}}/A_0$ от частоты имеет максимум. При возрастании δ_z максимум зависимости смещается в сторону низких частот, причем частота, на которой достигается максимум $f_{\text{эфф}} = f_{\text{эфф}}(H)$, зависит от толщины контролируемого объекта H .



Общее правило — чем больше затухание волн, тем меньше должна быть частота контроля. Это обусловлено требованием $\lambda \gg \bar{D}$, где $\bar{D}$ — средний размер зерна. В ином случае существенно возрастают структурные помехи.

Следует отметить, что предельная чувствительность при контроле литых изделий меньше, чем при контроле деформированных изделий из тех же материалов. Для контроля крупнозернистых материалов лучше использовать раздельно-совмещенные преобразователи с углом $20^\circ \dots 45^\circ$ между осями приемника и излучателя. Так как в этом угловом диапазоне интенсивность переотраженных волн — структурных помех, минимальна.



В таблице приведены данные о максимальной предельной чувствительности достигнутой при контроле эхо-методом изделий толщиной H из различных материалов.

Максимальная чувствительность эхо-метода для различных материалов

Материал	δ , Нп/см	H , мм	f , МГц	d , мм
Сплавы Al, Mg, Ti	$10^{-3} \dots 10^{-2}$	200...250	0,5...25	$d \sim \lambda/2$ ($f = 10 \text{ МГц}$; $d \sim 0,3 \text{ мм}$)
Стали	$10^{-2} \dots 8 \cdot 10^{-2}$	200...250	2,5...4,0	1
жаропрочные сплавы на основе Ni	$4 \cdot 10^{-2} \dots 0,3$	100...200	2,5...1	1,5
Другие материалы	$\delta > 0,3$	100...200		2...3