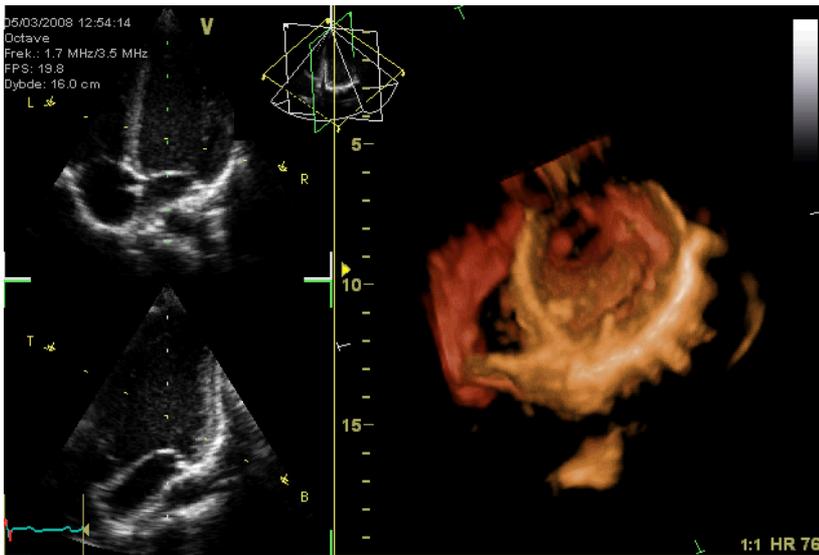


ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ В ИССЛЕДОВАНИИ КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

МОДУЛЬ 1. СТРУКТУРНЫЕ МЕТОДЫ АТТЕСТАЦИИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Лекция 6.

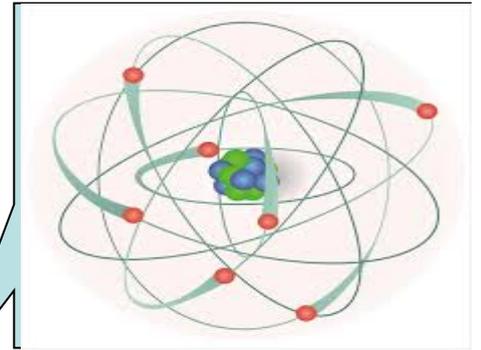
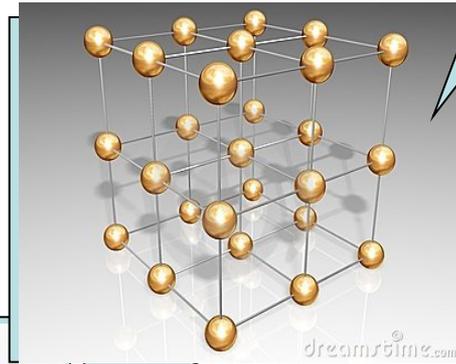
Ультразвуковая дефектоскопия. Основные закономерности распространения ультразвуковых волн в кристалле. Влияние дефектов кристаллической решетки на скорость звука. Методы измерения сигналов. Методы выделения сигналов на фоне помех, методы обнаружения разделения и выделения сигналов.



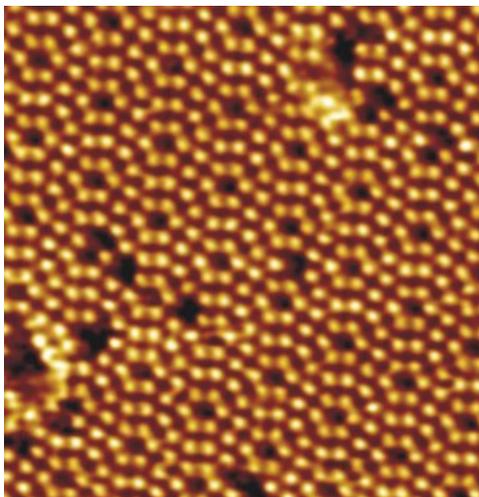
Ультразвуковые колебания в однородной среде распространяются прямолинейно и с постоянной скоростью.

На границе различных сред с неодинаковой акустической плотностью часть лучей отражается, а часть преломляется, продолжая прямолинейное распространение. Чем сильнее различие акустической плотности граничных сред, тем больше интенсивность зарегистрированного сигнала, а значит, тем светлее и ярче он будет выглядеть на экране аппарата.

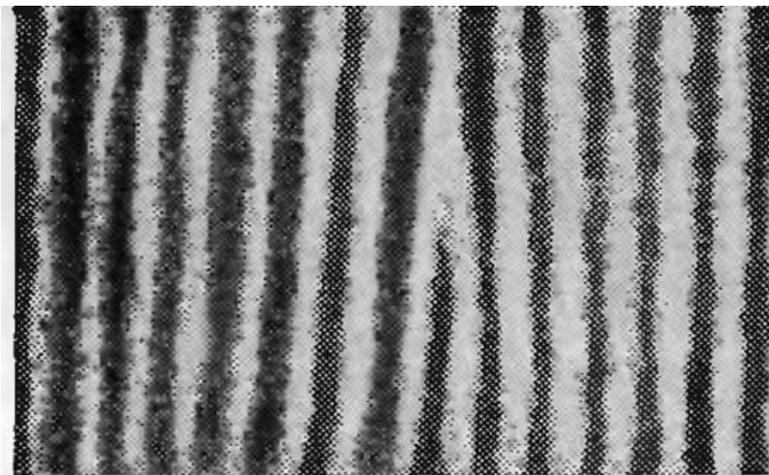
Полным отражателем является граница между тканями и воздухом. Поэтому при ультразвуковом сканировании пациента необходимо смазывание поверхности кожи водным желе, которое выполняет роль переходной среды.



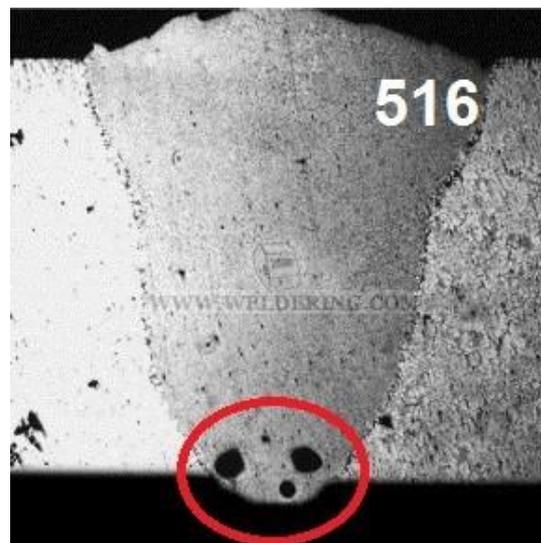
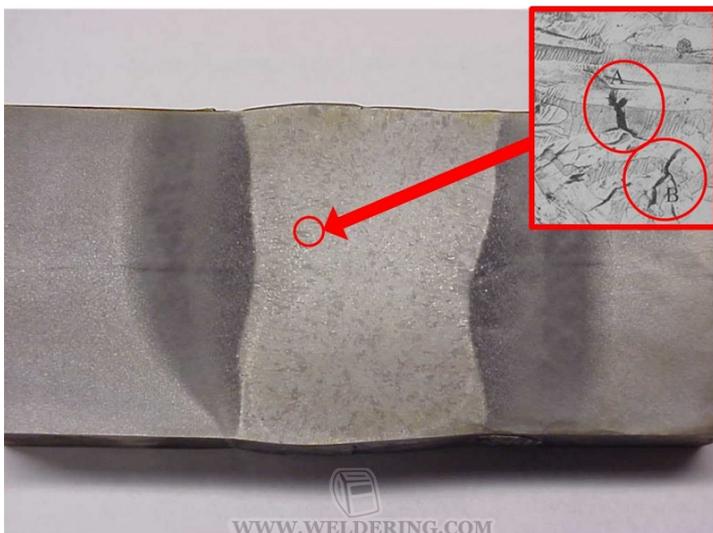
Структурные дефекты



структура Si(111)-(7x7)

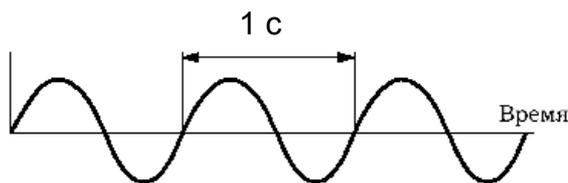
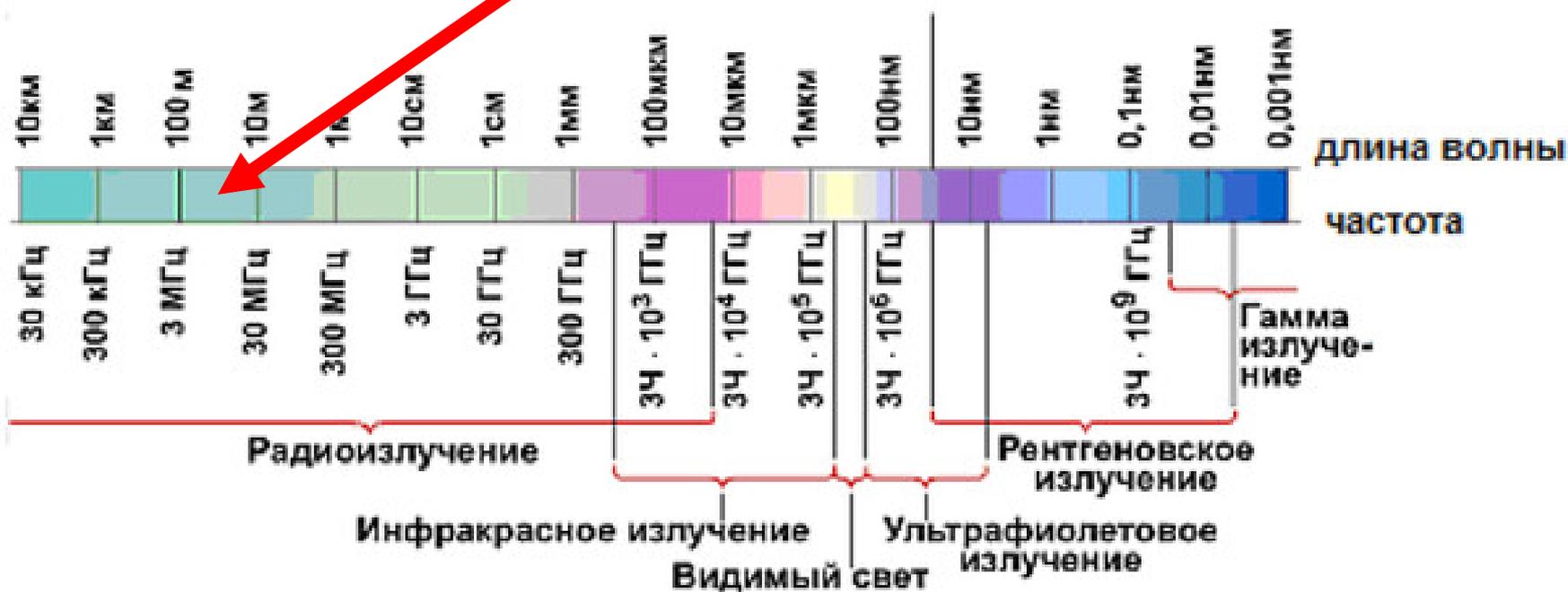


краевая дислокация в кристалле CuS



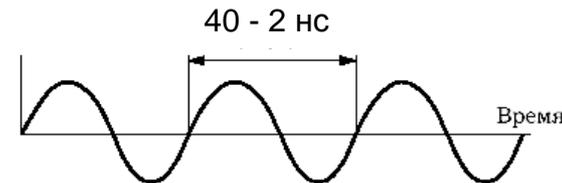
Трещины и поры в сварном шве

Ультразвуковая дефектоскопия — метод **неразрушающего контроля**, основанный на исследовании процесса распространения **ультразвуковых колебаний** с частотой 500 кГц — 25 МГц



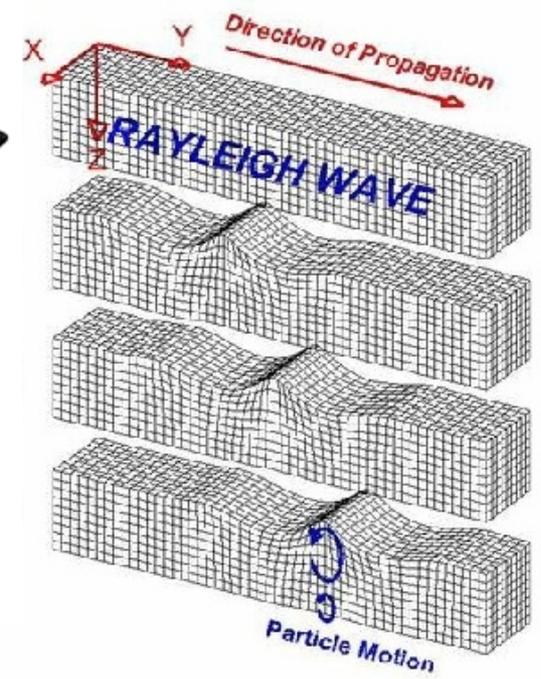
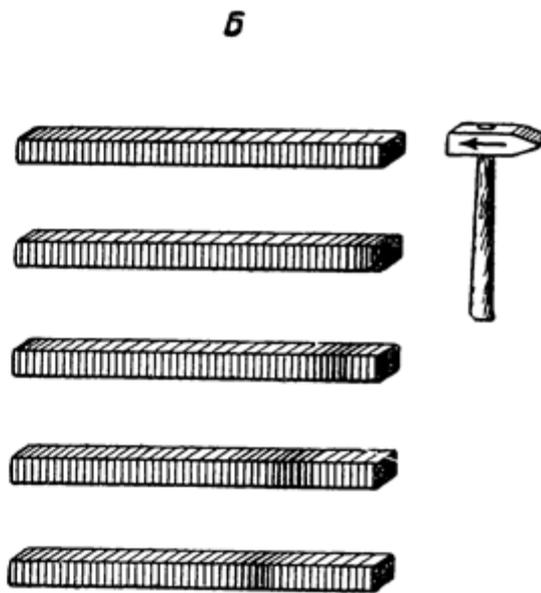
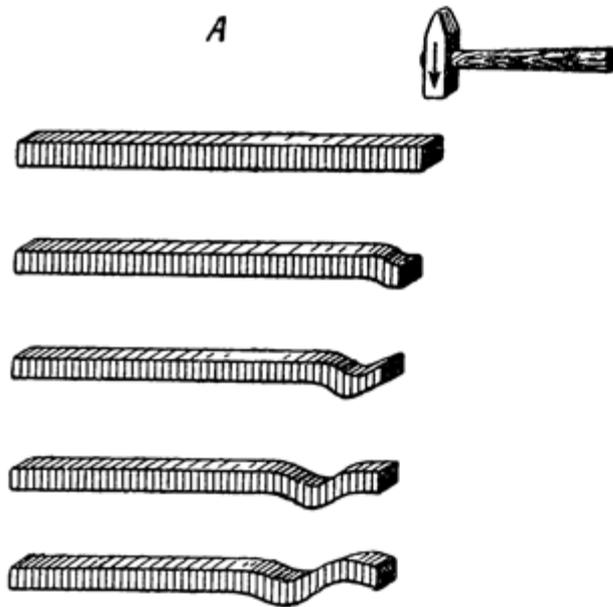
Частота 1 Гц – это 1 полное колебание за 1 с

Частота — это число полных колебаний (циклов) за период времени в 1 секунду



Ультразвуковые локаторы летучих мышей работают в диапазоне 25÷500 кГц 5

Возникающая в результате удара упругая деформация сжатия (т.е. уплотнение) на конце стержня перемещается вдоль стержня со скоростью c (т.е. со скоростью звука в данной металлической среде).



Скорость поперечной волны (существенно меньше)

$$c_l = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}}$$

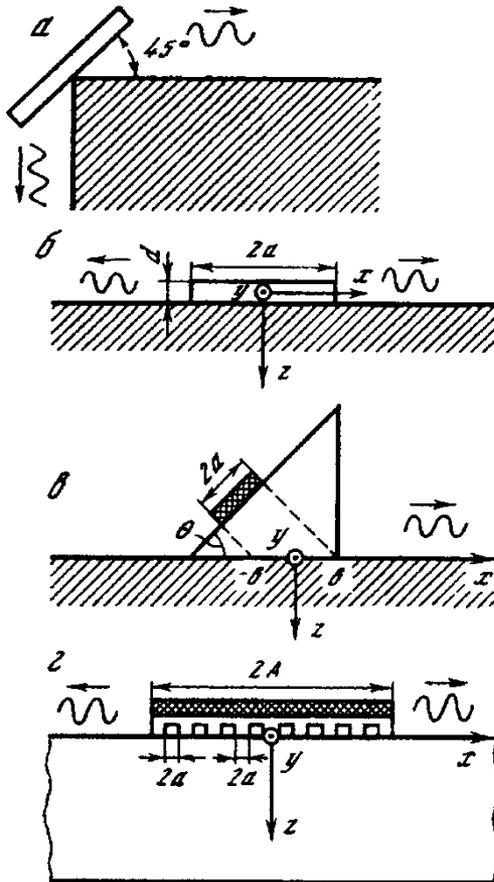
Скорость продольной волны

$$c_t = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\nu)}}$$

Скорость поверхностной (Рэлеевской) волны

$$c_{R=c_t} = \frac{0.875 + 1.125\nu}{1 + \nu}$$

Для возбуждения Рэлеевских волн обычно используют метод «клина», основанный на преобразовании продольных волн в рэлевские

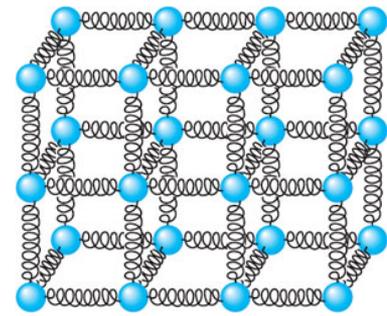


На наклонной грани призмы располагается пьезоэлектрическая пластинка, излучающая плоскую продольную волну, которая падает под углом θ_R на границу твёрдого тела с призмой.

Угол θ_R выбирается из условия оптимального возбуждения $\sin \theta_R = v_{\text{кл}} / v_R$, где $v_{\text{кл}}$ – скорость продольных волн в материале клина, а v_R – скорость рэлеевских волн в образце.

Очевидно, материал призмы должен обеспечивать выполнение неравенства $v_{\text{кл}} < v_R$, поэтому призма обычно делается из пластмассы.

$$c_t = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\nu)}} \quad (1)$$



Скорость распространения звуковой волны в упругом твердом теле **зависит** только от его **физических свойств** (т.е. от плотности вещества и его упругости) и характеризует физические свойства тела!

Чем **больше плотность** вещества, тем больше инерционность частиц и, следовательно, **меньше скорость** распространения звуковой волны.

Чем **выше упругость** вещества, то есть меньше его способность к деформации, тем с большей скоростью распространяется эта деформация (т.е. тем **выше скорость** звука).

Формула (1) справедлива до тех пор, пока длина акустической волны существенно больше межатомного расстояния и размеров самих атомов.

В случае малых длин волн наблюдается *дисперсия* (от лат. *dispergo* — *рассеивать*), т.е. рассеяния звуковой энергии на атомах вещества, что всегда приводит к **падению скорости** распространения колебательного возбуждения.

Ультразвуковая дефектоскопия

В однородном материале звуковые волны **не изменяют** траектории движения

При наличии каких-либо «дефектов», обладающих отличным удельным акустическим сопротивлением, имеет место отражение акустических волн.

Чем больше различаются акустические сопротивления, тем большая часть звуковых волн отражается от границы раздела сред.

Величина **длины** звуковой волны, а, следовательно, **частота** ввода акустических колебаний **определяет** способность выявлять мелкие дефекты раздельно друг от друга,

В случае, когда размер препятствия меньше четверти длины волны, отражения колебаний практически не происходит, а доминирует их дифракция.

Поэтому, как правило, частоту ультразвука стремятся повышать. С другой стороны, при повышении частоты колебаний быстро растёт их затухание, что сокращает возможную область контроля.

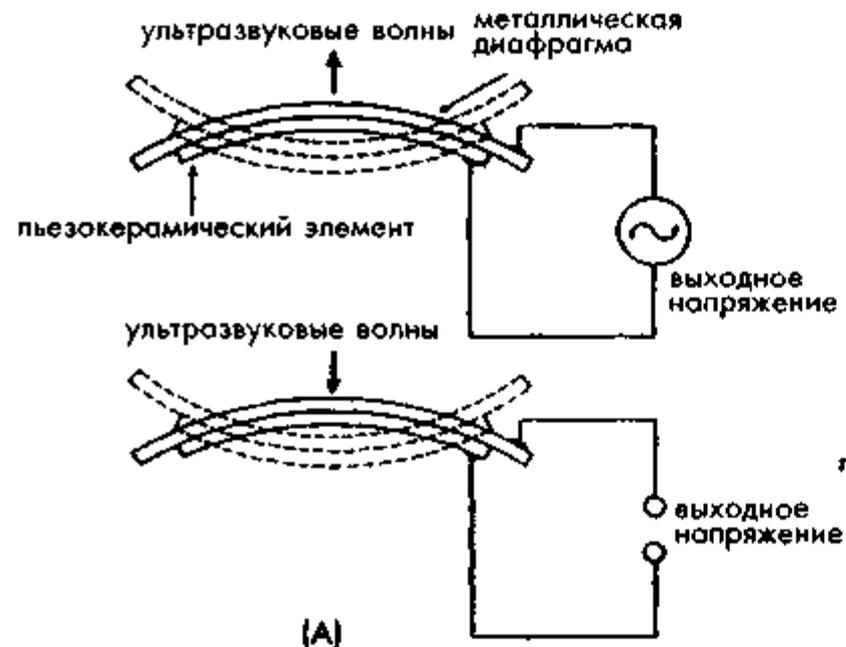
Поэтому используют ультразвуковую частоту в диапазоне от 0,5 до 10 МГц.

Принцип работы пьезодатчика

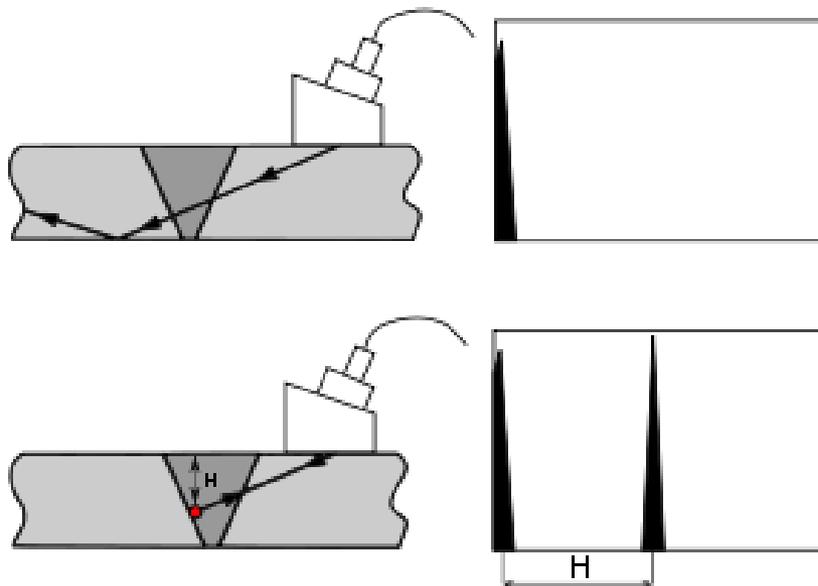
Короткий импульс электрического напряжения подаётся на пьезоэлектрическую пластину. За счёт обратного пьезоэффекта толщина пластины изменяется пропорционально напряжению на её обкладках.

В результате внешняя сторона пьезопластины, которая является рабочей поверхностью датчика, прижимается к поверхности исследуемого образца. В образце возбуждается продольная волна – короткий импульс в виде нескольких периодов синусоидального сигнала. Этот импульс распространяется в образце и отражается от возможных дефектов.

Отраженный сигнал может быть принят либо тем же датчиком, либо вторым аналогичным датчиком. При приёме акустическая волна приводит к изменению толщины пьезопластины датчика и возникновению электрического сигнала за счёт прямого пьезоэффекта



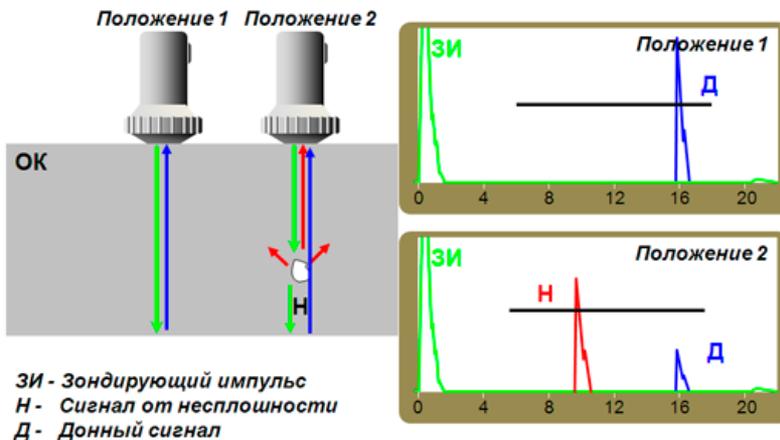
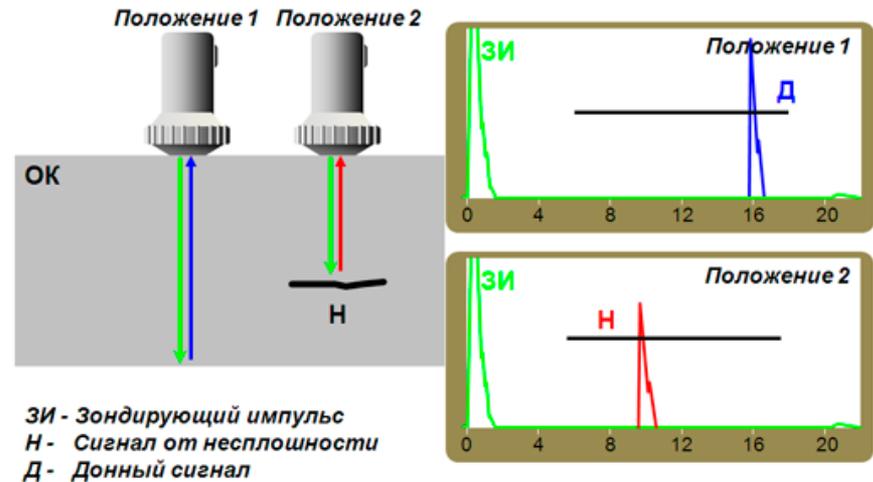
Эхо-импульсный метод ультразвуковой дефектоскопии



Признаком дефекта является появление на экране приемника эхо-сигнала.



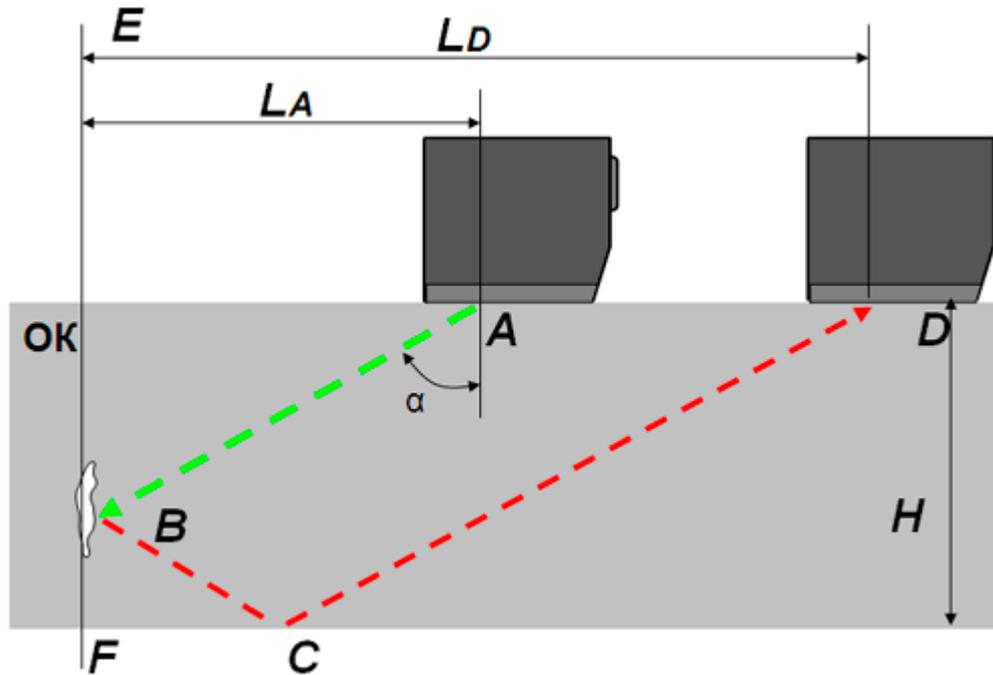
Эхо - метод



Между зондирующим и донным сигналами возникает промежуточный – импульс от несплошности, который и является признаком наличия несплошности.

Чем быстрее появился сигнал, тем ближе дефект к поверхности.

Эхо-зеркальный метод



Предназначен для
выявления
вертикальных
несплошностей

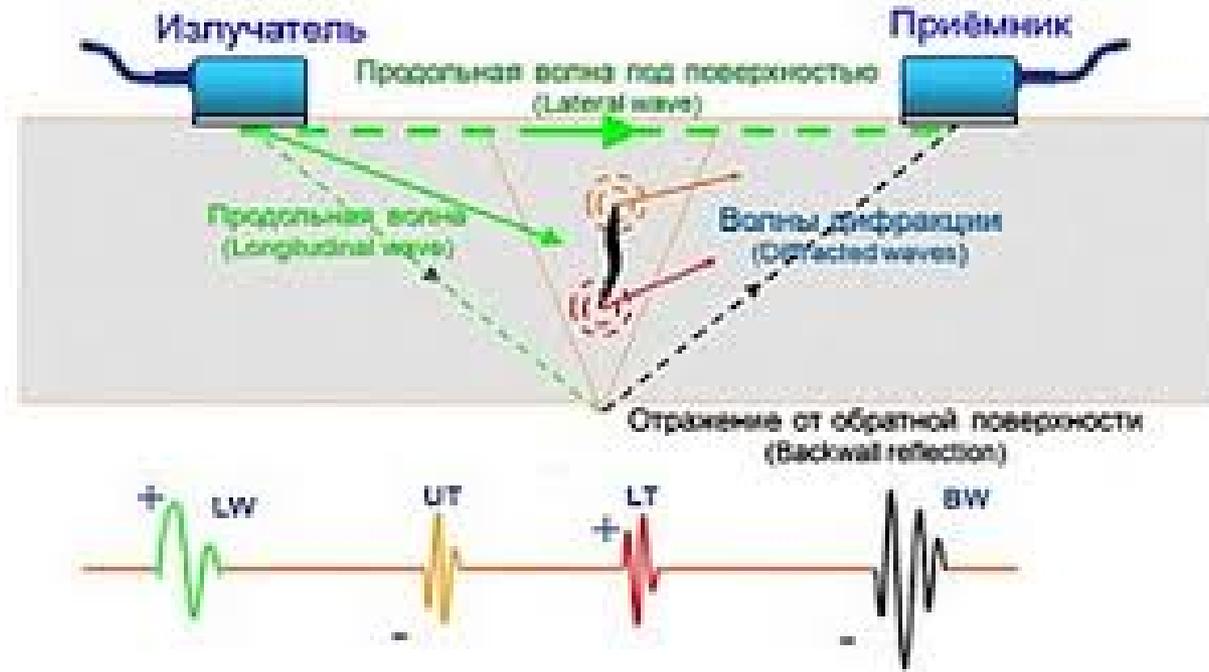
Для выявления несплошностей в сечении EF поддерживают постоянным значение $LA+LD=2H\tg\alpha$

Для выявления максимального (зеркального) отражения от не вертикальных несплошностей меняют значение $LA+LD$

Признаком дефекта, как и при теневом методе, будет считаться пропадание отраженных колебаний.

Основное **достоинство** этого метода в отличие от теневого заключается в доступе к детали с одной стороны.

Дифракционно-временной метод



Самой первой дойдет **поверхностная** (Рэлеевская) **волна**

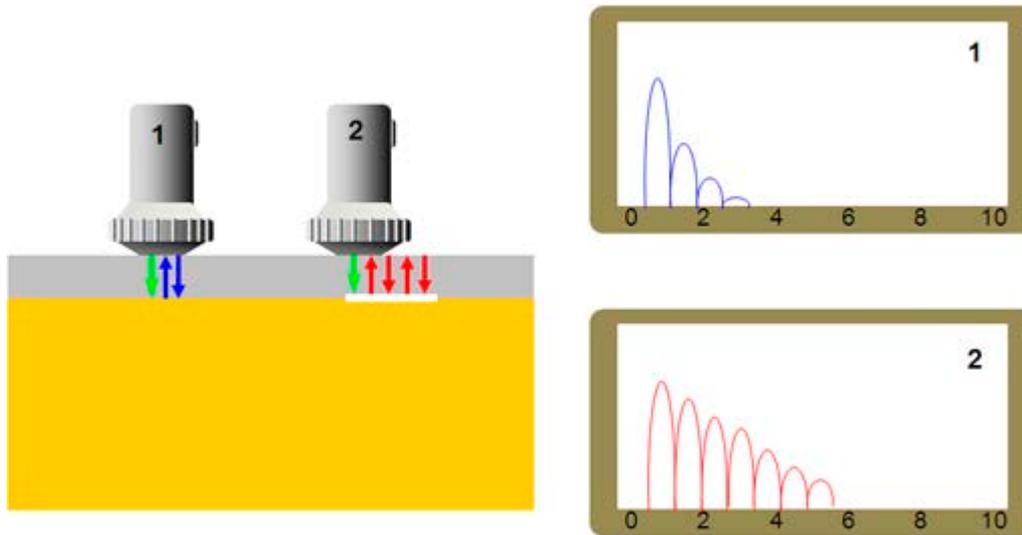
Продольная волна будет дифрагировать на краях трещины. Острые края трещины будут являться точечными источниками звуковых колебаний. На экране дефектоскопа одновременно отобразятся оба сигнала от **верхней** и от **нижней** границ дефекта. Промежуток между сигналами позволяет достаточно точно определить размер дефекта.

Самой последней дойдет **волна, отраженная от обратной поверхности.**

Дифрагированные от трещины сигналы достаточно слабые.

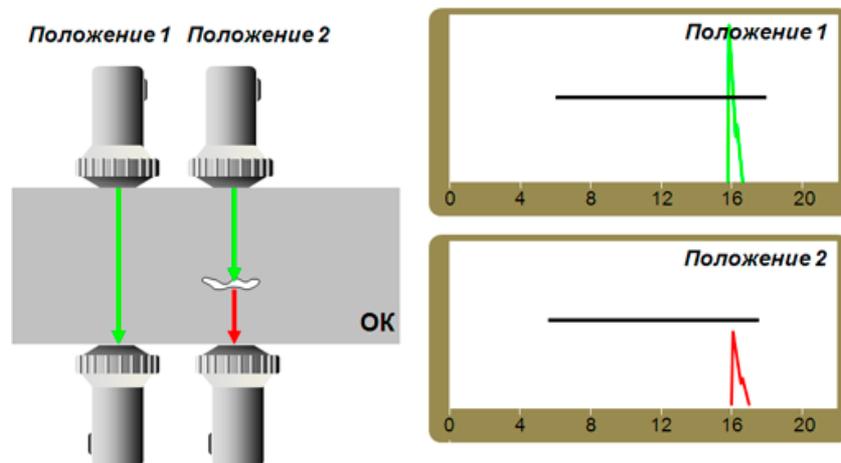
Ревербационный метод

Реверберация — это процесс постепенного уменьшения интенсивности звука при его многократных отражениях.



Метод основан на постепенном затухании сигнала в образце. При контроле **двухслойной** конструкции, в случае качественного соединения слоёв, часть энергии из первого слоя будет уходить во второй, поэтому ревербация будет меньше. Дефект соединения увеличивает коэффициент отражения ультразвука на границе раздела, что уменьшает скорость затухания амплитуд эхосигналов (увеличивает время реверберации) в слое металла.

Теневой метод – метод прохождения

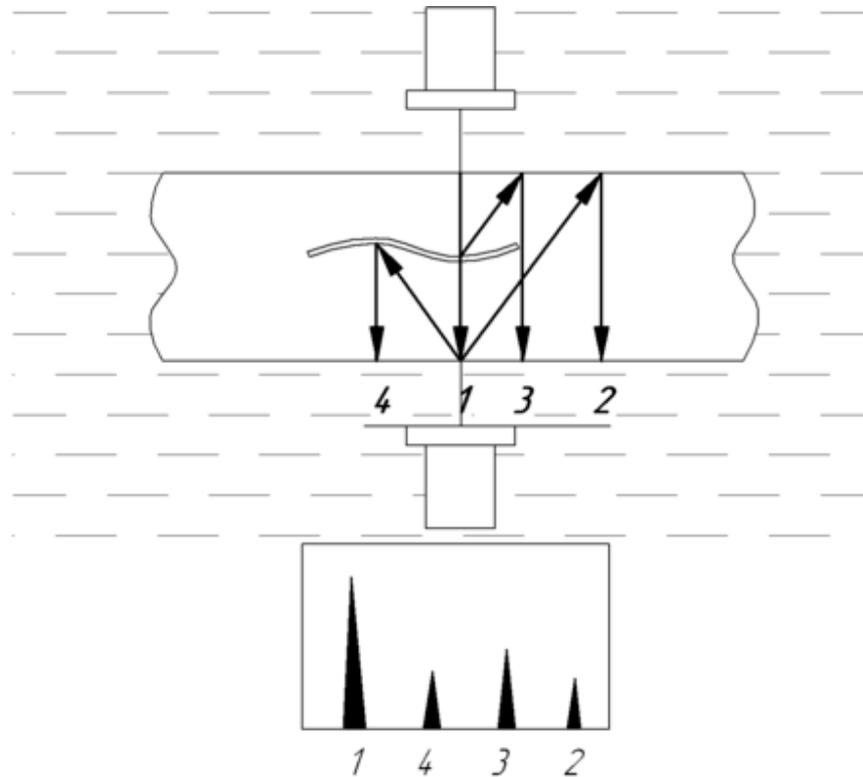


Теневой метод улавливает ослабление возвращенного сигнала, в этом случае наблюдается пониженная энергия (интенсивность, амплитуда) или вовсе смена фазы, вызванная огибанием дефектного места.

Этот метод неудобен тем, что потребует доступа к объекту анализа с двух сторон, так как сигнал выходит от пьезоизлучателя, а принимается уже другим преобразователем. У данного метода невысокая точность определения местоположения дефекта.

В англоязычной литературе *метод прохождения* называется *through transmission technique* или *through transmission method*, что полностью соответствует его российскому названию. Термин *теневой* в англоязычной литературе не применяется.

Эхо-сквозной метод



используются два преобразователя, которые находятся по две стороны от исследуемой детали на одной акустической оси. Признаком наличия дефекта будет являться значительное уменьшение амплитуды принятого сигнала, или его пропадание (дефект создает акустическую тень). При отсутствии дефекта на экране дефектоскопа наблюдаются только 1 и 2 импульсы. При наличии полупрозрачного дефекта, дополнительно 3 и 4-й.

Преимущества

- Ультразвуковой контроль не разрушает и не повреждает исследуемый образец, что является его главным преимуществом.
- Возможно проводить контроль изделий из разнообразных материалов, как металлов, так и неметаллов.
- Можно выделить высокую скорость исследования при низкой стоимости и опасности для человека (по сравнению с рентгеновской дефектоскопией) и высокую мобильность ультразвукового дефектоскопа.

Недостатки



- Использование пьезоэлектрических преобразователей требует подготовки поверхности для ввода ультразвука в металл, в частности создания шероховатости поверхности не ниже класса 5, в случае со сварными соединениям ещё и направления шероховатости (перпендикулярно шву). Ввиду большого акустического сопротивления воздуха, малейший воздушный зазор может стать непреодолимой преградой для ультразвуковых колебаний. Для устранения воздушного зазора, на контролируемый участок изделия предварительно наносят контактные жидкости, такие как вода, масло, клейстер. При контроле вертикальных или сильно наклоненных поверхностей необходимо применять густые контактные жидкости с целью предотвращения их быстрого стекания.
- Для контроля изделий с внешним диаметром менее 200 мм, необходимо использовать преобразователи, с радиусом кривизны подошвы R , равным $0,9-1,1R$ радиуса контролируемого объекта, так называемые *притертые* преобразователи, которые в таком виде непригодны для контроля изделий с плоскими поверхностями. Например для контроля цилиндрической поковки, необходимо производить перемещение преобразователя в двух взаимно перпендикулярных направлениях, что подразумевает под собой использование двух притёртых преобразователей — по одному для каждого из направлений.

Недостатки

- Как правило ультразвуковая дефектоскопия не может дать ответ на вопрос о реальных размерах дефекта, лишь о его отражательной способности в направлении приемника. Эти величины коррелируют, но не для всех типов дефектов. Кроме того, некоторые дефекты практически невозможно выявить ультразвуковым методом в силу их характера, формы или расположения в объекте контроля.
- Практически невозможно производить достоверный ультразвуковой контроль металлов с крупнозернистой структурой, таких как чугун или аустенитный сварной шов (толщиной свыше 60 мм) из-за большого рассеяния и сильного затухания ультразвука. Кроме того, затруднителен контроль малых деталей или деталей со сложной формой.
- Также затруднен ультразвуковой контроль сварных соединений из разнородных сталей (например аустенитных сталей с перлитными сталями) ввиду крайней неоднородности металла сварного шва и основного металла.