

Ультразвуковой контроль (УЗК).

Физические основы генерации ультразвуковых волн (УЗВ). Распространение УЗВ в материале.

Ультразвуковая дефектоскопия на первый взгляд (фото из открытых источников)



Ультразвуковая дефектоскопия на первый взгляд (фото из открытых источников)

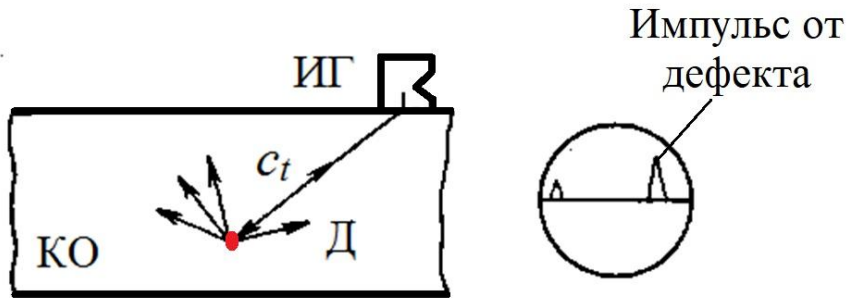
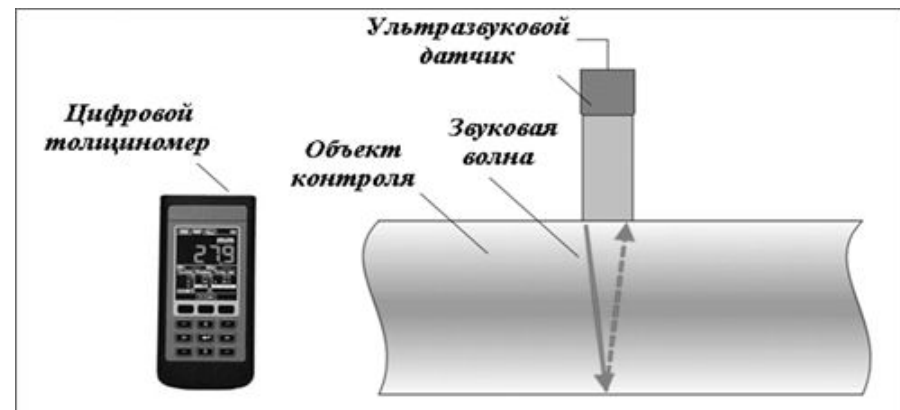


Схема ультразвуковой дефектоскопии:
ИГ – искательная головка; КО –
контролируемый объект; Д - дефект

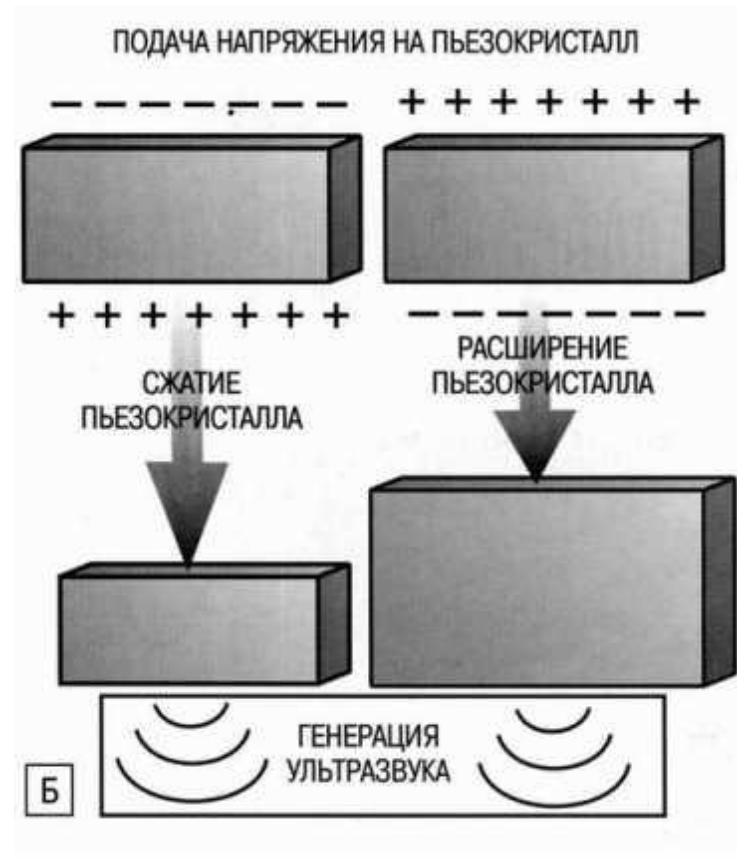


Физические основы генерации УЗВ. Пьезоэффект.

Прямой пьезоэффект



Обратный пьезоэффект



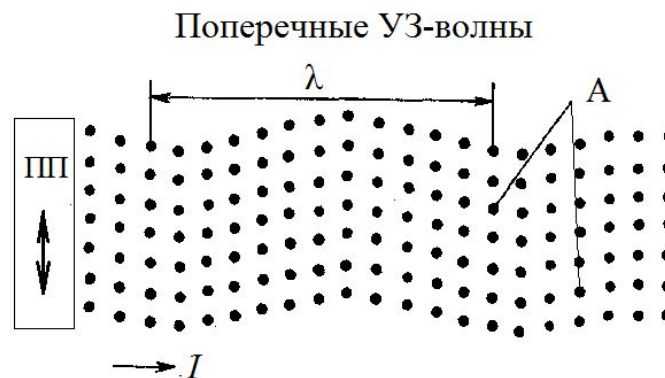
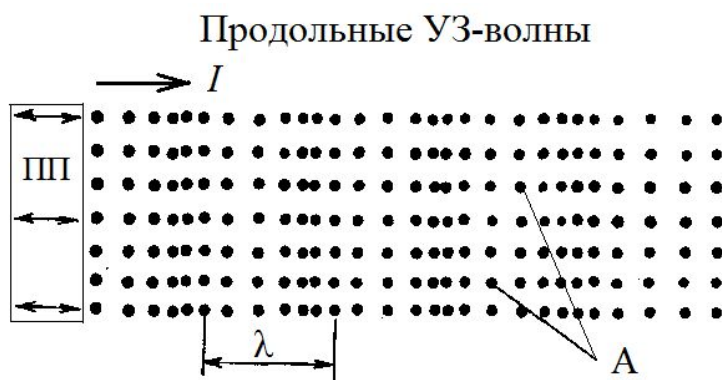
Прямой пьезоэлектрический эффект – явление возникновения электрического заряда на поверхностях пластины из пьезоматериала при её деформировании.

Обратный пьезоэлектрический эффект – явление изменения размеров пластинки под действием электрического поля.

Формирование УЗВ в материале

Ультразвуковая волна – процесс распространения в среде упругих колебаний ультразвуковой частоты (свыше 20 000 Гц).

Каждая частица среды колеблется вблизи положения своего равновесия, передавая энергию соседним частицам, *т.е. осуществляется процесс переноса энергии без переноса вещества.*



Продольная волна – волна, в которой колебательное движение частиц среды *совпадает* с направлением распространения волны.

Поперечная волна – волна, в которой частицы колеблются в направлении, *перпендикулярном* направлению распространения волны.

Могут существовать в твердых телах, жидкостях и газах.

Могут существовать только в твердых телах.

Характеристики УЗВ

Скорость звука c (м/с) – скорость распространения в среде упругих колебаний.

Продольная волна:

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

Поперечная волна:

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

$$c_t = c_l \sqrt{\frac{1-2\mu}{2(1-\mu)}}$$

$$\left(\frac{c_t}{c_l}\right)_{Fe} = 0,55 \quad \left(\frac{c_t}{c_l}\right)_{Al} = 0,49$$

Длина волны λ (м) – расстояние между двумя плоскостями, в которых частицы находятся в одинаковом состоянии движения (например, между двумя зонами сжатия).

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

| Частота f , МГц | Длина волны λ , мм | | |
|-------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | сталь | | вода |
| | $(c_l = 5900 \text{ м/с})$ | $(c_t = 3245 \text{ м/с})$ | $(c_l = 1490 \text{ м/с})$ |
| 0,5 | 11,8 | 6,49 | 2,98 |
| 2 | 2,95 | 1,62 | 0,75 |
| 5 | 1,18 | 0,65 | 0,30 |
| 10 | 0,59 | 0,32 | 0,15 |

Характеристики УЗВ (продолжение)

Давление звуковой волны p (Па) – переменное избыточное давление, возникающее в упругой среде при прохождении через неё звуковой волны.

$$p = \rho c V$$

ρ – плотность материала; V – колебательная скорость частиц.

$z = \rho c$ - акустический импеданс среды (удельное акустическое сопротивление среды).

Плотность потока энергии ω (Вт) – энергия, проходящая за единицу времени через единичную площадку, перпендикулярную к направлению волны.

$$\omega = \frac{p^2}{z}$$

Интенсивность звука, сила звука (Вт/м²) – средняя плотность потока энергии за период колебания звуковой волны.

$$I = \frac{z \omega^2 U^2}{2}$$

U – величина смещения частицы относительно положения равновесия.

Затухание УЗВ в материале

Затухание УЗВ – уменьшение амплитуды колебаний частиц в звуковой волне, вызванное процессами рассеяния и поглощения.

Рассеяние УЗВ

Основной фактор, влияющий на рассеяние УЗВ в металлах – *соотношение длины волны λ и средней величины зерна D* .

$\lambda \ll D$ - рассеяние практически отсутствует, звук поглощается в каждом зерне как в одном большом кристалле; затухание определяется интенсивностью поглощения;

$\lambda \approx (1 \dots 4) D$ – «диффузное рассеяние» - высокий коэффициент рассеяния, наиболее сильное затухание;

$\lambda = (4 \dots 10) D$ – рассеяние снижается; $\delta_p \approx Df^2$;

$\lambda \gg D$ – рассеяние волны происходит мелкими частицами; $\delta_p \approx D^3f^4$;

Поглощение УЗВ

Поглощение УЗВ – преобразование звуковой энергии в тепловую.

Интенсивность поглощения во многом определяется частотой колебаний. Чем выше частота колебаний – тем большая часть энергии преобразуется в тепловую – тем выше поглощение.

Коэффициент поглощения δ_{Π} пропорционален частоте колебаний : $\delta_{\Pi} \approx f$

Закон снижения интенсивности звука при прохождении отрезка пути за счет затухания:

$$I_x = I_0 e^{-2\delta x} \quad \delta = \delta_p + \delta_n$$

$$\delta = k_1 f^4 + k_2 f$$

Отражение УЗВ на границе раздела двух сред

Отражение – изменение направления волны на границе раздела, при котором волна частично переходит в другую среду.

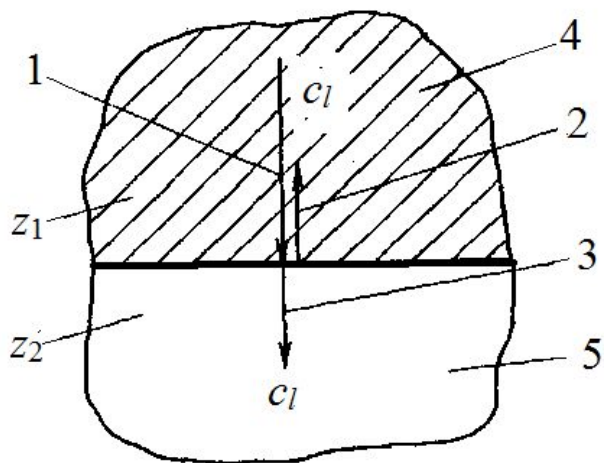


Схема преобразования продольной УЗВ при прохождении по нормали через границу двух сред

Коэффициент отражения продольной УЗВ:

$$R = \left(\frac{\rho_1 c_1 - \rho_2 c_2}{\rho_1 c_1 + \rho_2 c_2} \right)^2$$

Коэффициенты отражения продольной волны на границе между сталью и некоторыми средами, заполняющими полости дефектов сварки

| Материал несплошности | R, % |
|-----------------------|------|
| Газ | 100 |
| Вода | 88 |
| Кварц | 31 |
| Шлак | 16 |
| Медь | 0,21 |

Трансформация УЗВ на границе раздела двух сред

Преломление – изменение направления волны на границе раздела, при котором волна переходит в другую среду.

Трансформация – преобразование волн одного типа в волны другого типа, происходящее на границе раздела двух сред.

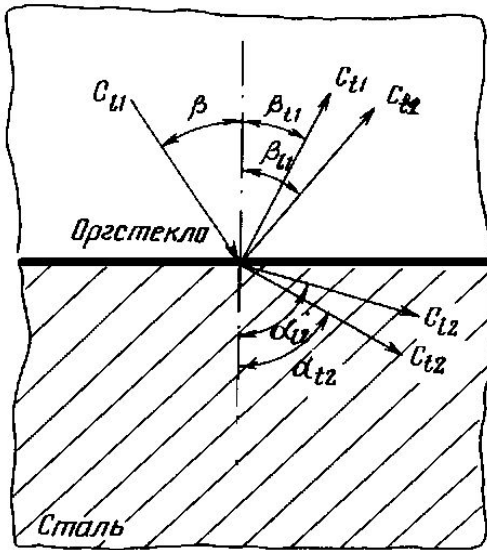


Схема преобразования продольной УЗВ при прохождении УЗВ через границу двух сред под углом β

Уравнение Снеллиуса

$$\frac{\sin \beta}{c_{l1}} = \frac{\sin \beta_{l1}}{c_{l1}} = \frac{\sin \beta_{t1}}{c_{t1}} = \frac{\sin \alpha_{l2}}{c_{l2}} = \frac{\sin \alpha_{t2}}{c_{t2}}$$

Первый критический угол $\beta_{кр1}$ – значение угла падения β , при котором преломленная продольная волна c_{l2} не будет проходить во вторую среду (т.е. $\alpha_{l2} = 90^\circ$).

$$\beta_{кр1} = \arcsin\left(\frac{c_{l1}}{c_{l2}}\right)$$

Второй критический угол $\beta_{кр2}$ – значение угла падения β , при котором преломленная поперечная волна c_{t2} не будет проходить во вторую среду (т.е. $\alpha_{t2} = 90^\circ$).

$$\beta_{кр2} = \arcsin\left(\frac{c_{l1}}{c_{t2}}\right)$$