

Skúšky na zisťovanie vnútorných väd

Ultrazvukové skúšky

Táto metóda využíva **zákonitosti prechodu ultrazvukových vln** (lom, odraz, absorpcia, transformácia) pre detekciu chýb v skúšanom materiáli.

Zvuk je vlastne šírenie mechanickej energie v pevných látkach, kvapalinách alebo plynch. Schopnosť zvuku šíriť sa závisí na vlastnostiach materiálu a frekvencii zvuku. Ultrazvuk je mechanické kmitanie častíc hmotného prostredia (podobne ako zvuk), ale s frekvenciou nad 20 kHz, a pri týchto frekvenciách sa už šíri dobre vo väčšine elastických alebo skoro elastických pevných látkach a kvapalinách. Z hľadiska počuteľnosti (teoreticky) rozlišujeme zvuk takto:

- **infrazvuk** - frekvencie pod 16 Hz,
- **počuteľný zvuk** - od 16 Hz do 20 kHz,
- **ultrazvuk** - frekvencie nad 20 kHz

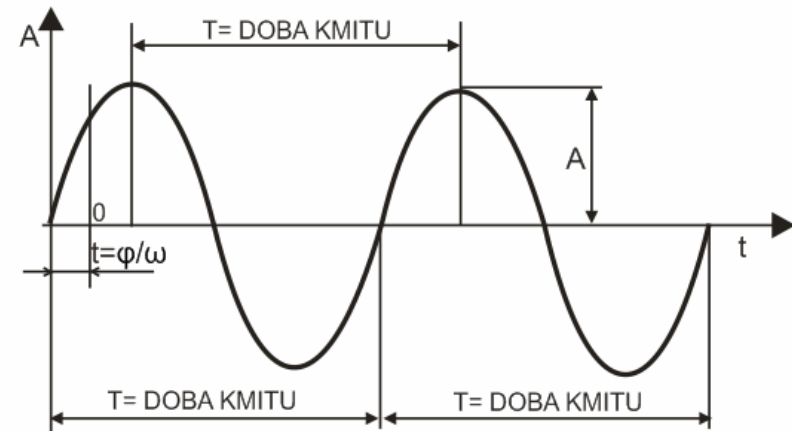
Podľa veľkosti intenzity ultrazvukového vlnenia ultrazvuková energia sa rozdeľuje na **pasívnu** a **aktívnu**.

Pasívny ultrazvuk zahŕňa všetky jeho použitia, kde ultrazvukové vlnenie dosahuje takú intenzitu, ktorá pri jeho šírení nespôsobuje nijaké fyzikálne alebo chemické zmeny v prostredí. Pritom sa využívajú fyzikálne zákonitosti lineárnej akustiky spojené so šírením ultrazvuku v plynnom, kvapalnom a tuhom prostredí.

Aktívny ultrazvuk, nazývaný aj makrozvuk, s vyššími intenzitami, približne nad **$0,5 \cdot 10^4 \text{ W/m}^2$** , v spojení s mnohými nelineárnymi efektmi ovplyvňuje vlastnosti, resp. štruktúru prostredí, ak ich podrobíme jej vplyvu. Zaujímavý je pre oblasti vedy a technológie, pri ktorých treba urýchliť jednotlivé procesy alebo zvýšiť kvalitu vykonávanej operácie, resp. riešiť také problémy, ktoré aplikovaním iných druhov energie sa doteraz nepodarilo zvládnuť.

Základnými veličinami ultrazvuku sú:

kmitočet, **intenzita** a **rýchlosť**, ktorá je charakteristická pre isté prostredie. Vlnením nazývame pohyb, ktorý vznikol v pružnom prostredí pôsobením kmitajúceho telesa.



Charakteristickou veličinou vlnenia je **vlnová dĺžka „ λ “**, ktorá vyjadruje vzdialenosť, ktorú prebehne vlna v dobe jednej periódy (viď obr) a vypočítame ju podľa vzorca

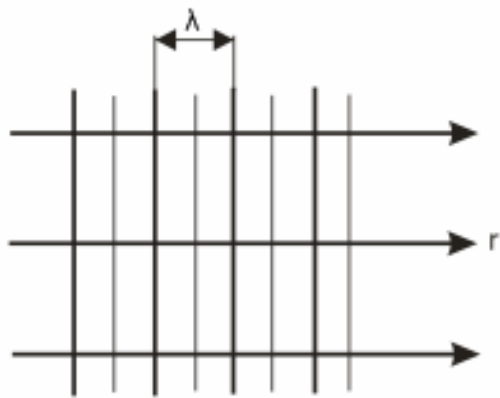
$$\lambda = c/f = c.T \quad (\text{m})$$

kde „ c “ je rýchlosť vlny v m/s, „ f “ je frekvencia v Hz alebo c/s a „ T “ je doba kmitu (perióda) v s

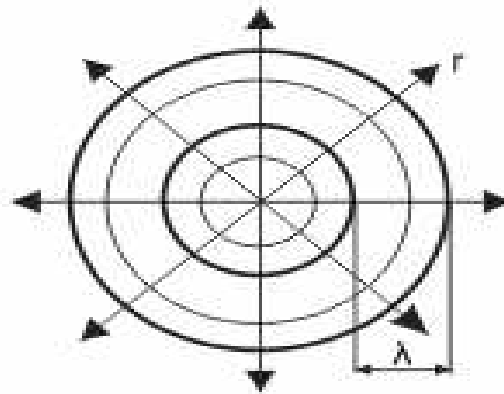
Šírenie ultrazvukových vln

Šírenie ultrazvukových vln prostredím je vždy priestorové, pričom značný počet vzájomne susediacich častíc kmitá v rovnakej fáze. Kmitajúce častice v rovnakej fáze tvoria plochu, ktorú nazývame **vlnoplohou.**

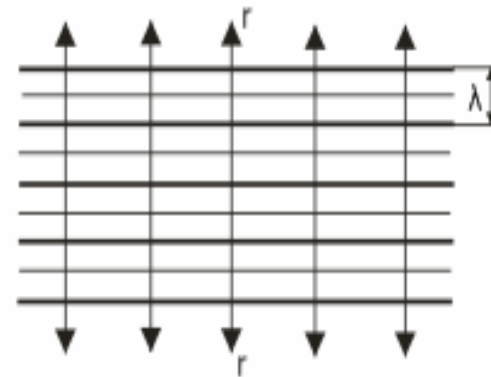
Podľa tvaru vlnoplochy rozoznávame vlnenie rovinné (vlnoplocha tvorí rovinu kolmú na smer šírenia), valcové (vlnoplochy sú vzájomne súosové valce) a guľové (vlnoplochy majú tvar sústredných guľových plôch).



a)



b)



c)

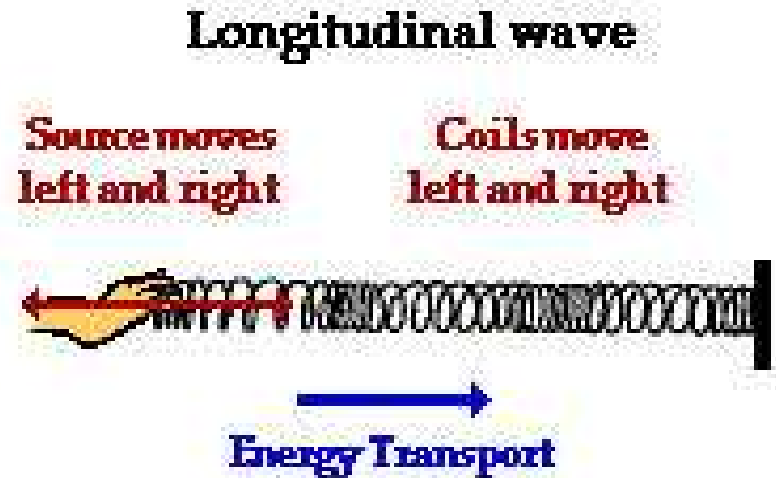
Tvary vln: a – rovinná, b – kruhová, c – valcová

Základné druhy ultrazvukových vln

Podľa smeru kmitania častíc prostredia na smer šírenia vlny rozlišujeme vlnenie:

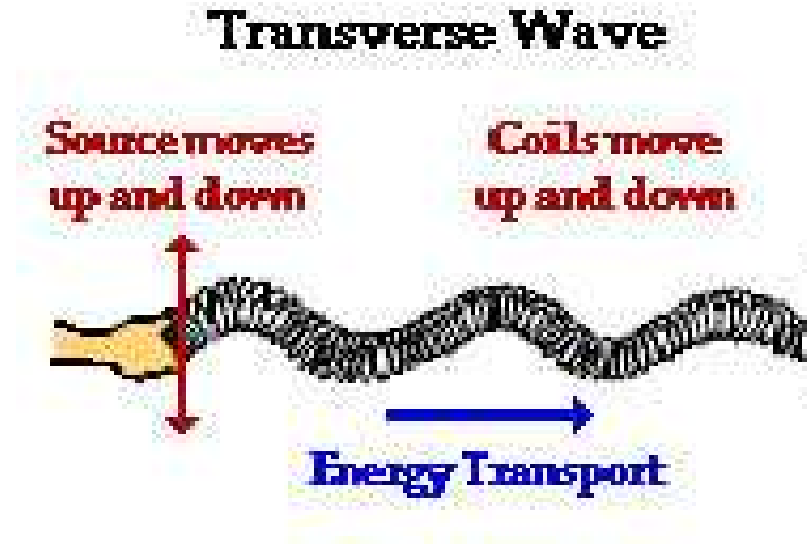
- *pozdĺžne,*
- *priečne,*
- *povrchové,*
- *doskové symetrické a asymetrické.*

Pozdĺžne vlnenie je také, pri ktorom **častice kmitajú v smere šírenia vlnenia**. Materiálom sa šíri ako tlakové vlny a môže sa šíriť tuhým, kvapalným aj plyným prostredím. Preto ide o druh vln, s ktorými sa najčastejšie stretávame. **Jedinou podmienkou, aby sa v prostredí mohla šíriť čisto pozdĺžna vlna, sú dostatočne veľké rozmery prostredia vzhľadom k dĺžke vlny.**



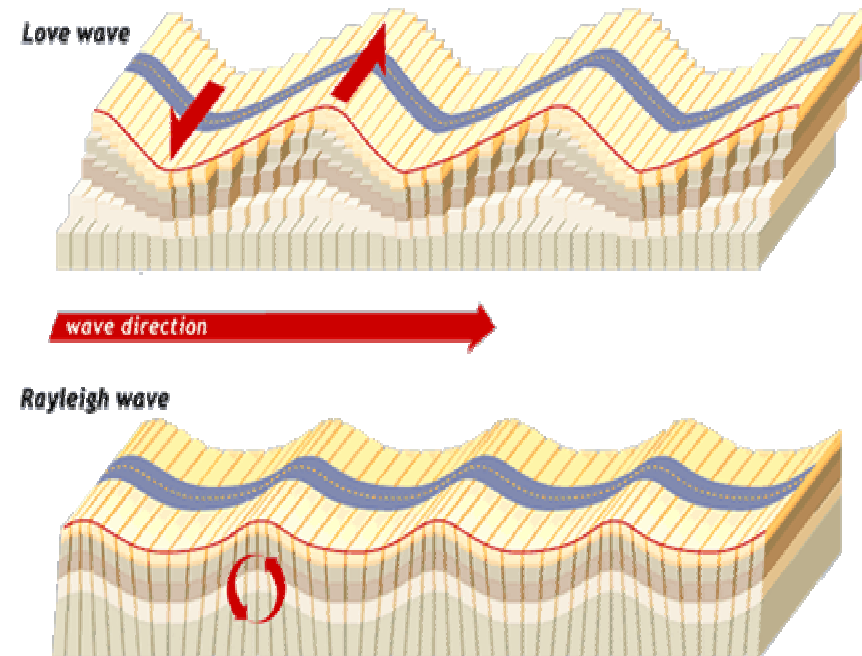
Ako zvláštny druh pozdĺžnej vlny sa označuje vlna podpovrchová, ktorá sa šíri tesne pod povrchom rýchlosťou pozdĺžnej vlny.

Pri priečnom vlnení kmitajú častice kolmo na smer šírenia. Priečne vlny sa tiež môžu šíriť len v prostredí s rozmermi omnoho väčšími než je dĺžka vlny, avšak iba v takom, ktoré kladie odpor namáhania v šmyku, t. j. v prostredí tuhom.



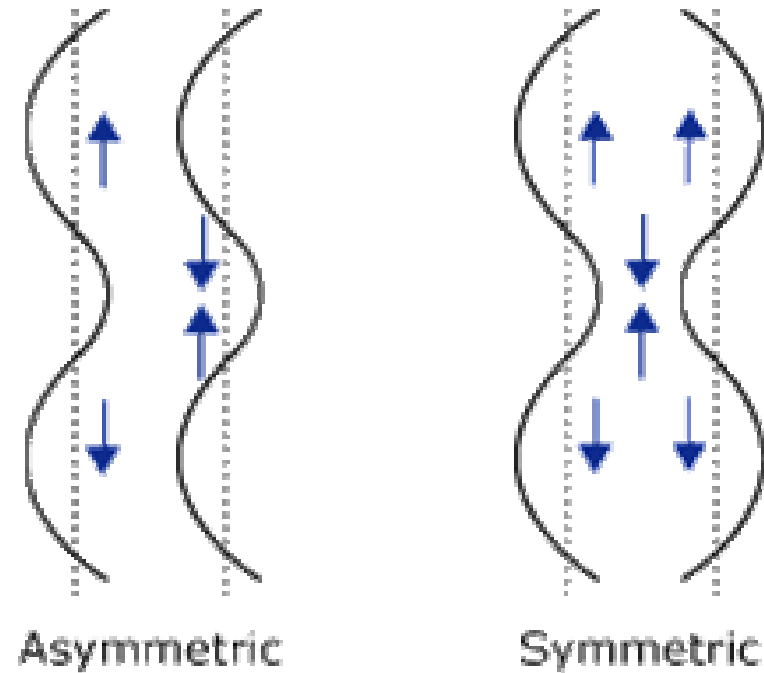
Iba niektoré kvapaliny alebo pasty s veľkou viskozitou môžu priečne vlny prenášať.

Povrchové alebo
Raileighove vlny sa šíria pozdĺž
povrchu skúšaného predmetu
a majú charakter priečných vln.
Tieto vlny vnikajú len do nepatrnej
hĺbky pod povrch, pretože sú silne
tlmené s rastúcou hrúbkou. **Častice**
kmitajú okolo rovnovážnej
polohy po eliptickej dráhe,
pretože na ne pôsobí sila kolmá
na smer šírenia (priečna), ktorá
podstatne prevyšuje silu
pôsobiacu v smere šírenia
(pozdĺžnu).



Na rozhraní tuhého a kvapalného
prostredia sa môžu vyskytovať vlny
podobné Raileighovým. Sú však
podstatne viac tlmené a preto
pomernie rýchlo zanikajú.

Doskové vlny nazývané tiež Lambové, môžu vzniknúť kombináciou pozdĺžnych a priečných vĺn. Tieto vlny je možné vyvolať v dvoch základných formách – ako symetrické vlny dilatačné a asymetrické vlny ohybové. U oboch týchto druhov vĺn **kmitá celé prostredie, ktorým sa vlny šíria.**



V oboch prípadoch častice prostredia kmitajú po eliptickej dráhe v rovine kolmej k povrchu a teda i na smer šírenia. V defektoskopii sa používajú ku skúšaniam dosiek a drôtov.

Rýchlosť šírenia ultrazvukových vln

Rýchlosť šírenia ultrazvukových vln závisí na elastických konštantách prostredia, ktorým sa vlny šíria.

a.)Rýchlosť šírenia ultrazvuku v plynoch a kvapalinách.

Rýchlosť šírenia ultrazvuku v ideálnom plyne a v kvapaline možno vyjadriť viacerými navzájom súvisiacimi vzťahmi. Často sa vyjadruje ako:

$$c = (\chi \cdot (Pa/\rho))^{1/2}$$

kde „Pa“ je celkový atmosferický tlak (asi 105Pa), $\chi = c_p/c_v$ je pomer špecifických tepiel pri konštantnom tlaku a objeme – Poissonova konštanta a „ ρ “ je hustota plynu (pre vzduch 1,18kg/m³).

b.) Rýchlosť šírenia ultrazvuku v tuhých látkach.

U tuhých látok sú pomery pre šírenie zvuku nepomerne zložitejšie ako u plynov a kvapalín. U tuhých látok však existuje tiež pružnosť tvarová. Preto sú pri izotropných látkach potrebné dve elastické konštanty, napr. **modul pružnosti v ťahu „E“** a **modul pružnosti v šmyku „G“**. Namiesto jednej z obidvoch konštánt sa tiež používa **„μ“ Poissonova konštant**a, pričom vzájomnú súvislosť môžeme vyjadriť vzťahom:

$$G = E / 2 \cdot (1 + \mu) \Rightarrow \mu = (E / 2G) - 1$$

Každé vlnenie, ktoré sa vyskytuje v tuhých látkach sa šíri svojou charakteristickou rýchlosťou. Rýchlosť šírenia **pozdlžneho (longitudinálneho)** vlnenia:

$$c_L = ((E / \rho) \cdot ((1 - \mu) / (1 + \mu) \cdot (1 - 2\mu)))^{1/2}$$

Rýchlosť **priečneho (transverzálneho)** vlnenia:

$$c_T = ((E / \rho) \cdot (1 / 2(1 + \mu)))^{1/2}$$

Rýchlosť **povrchového (Raileighovho)** vlnenia:

$$c_R = ((0,87 + 1,12\mu) / (1 + \mu)) \cdot ((E / \rho) \cdot (1 / 2(1 + \mu)))^{1/2}$$

Rozdelenie a princíp ultrazvukových metód

Touto metódou indikujeme chyby plošného i objemového charakteru nachádzajúce sa v objeme (aj na povrchu) materiálu. Ak dopadne (narazí) ultrazvuková vlna na chybu alebo rozhranie, odráža sa čiastočne alebo v celom rozsahu späť k zdroju vlnenia (k sonde). V podstate na tomto princípe je založená celá ultrazvuková defektoskopia.

Metódy ultrazvukovej defektoskopie je možné rozdeliť do nasledovných základných skupín, a to:

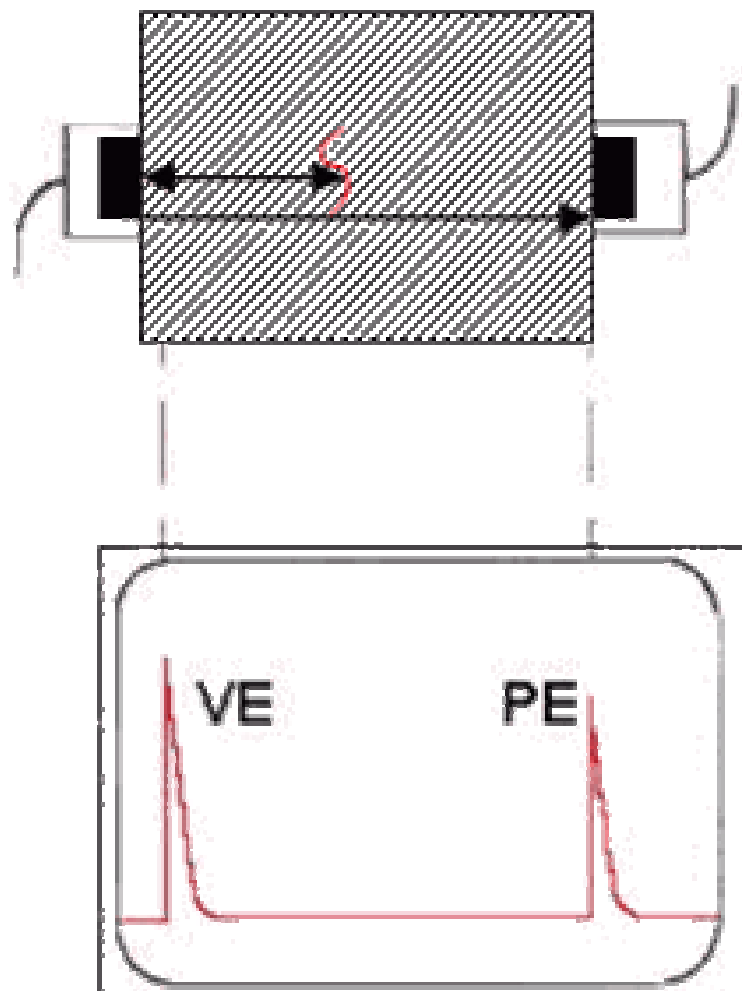
- *metóda prechodová,*
- *metóda odrazová,*
- *metóda rezonančná.*
- *akustické emisie,*
- *metóda impedančná.*

PRECHODOVÁ METÓDA je najjednoduchšia metóda skúšania materiálu ultrazvukom. Je založená na meraní ultrazvukovej energie, ktorá prešla skúšaným predmetom. Pracuje sa s dvoma sondami, ktoré sú vždy umiestnené súoso voči na protiahlych stenách skúšaného predmetu. Ultrazvukové vlny, ktoré do materiálu vysiela vysielaajúca sonda sú z druhej strany prijímané sondou prijímacou. Ak sa v materiály nachádza vada alebo iná nehomogenita, na ktorej ploche sa odrážajú šíriace sa vlny, tvorí sa za vadou tieň a do prijímača prichádza menšia hodnota energie. Vada sa zisťuje porovnaním hodnôt prijatej energie materiálom neporušeným a vadným.

Prechodovú metódu je možné použiť len ku kontrole predmetov s rovnobežnými povrchmi (rovinnými alebo zakrivenými)!!!

Výhodou tejto metódy je jej jednoduchosť a možnosť použitia jednoduchých meracích prístrojov.

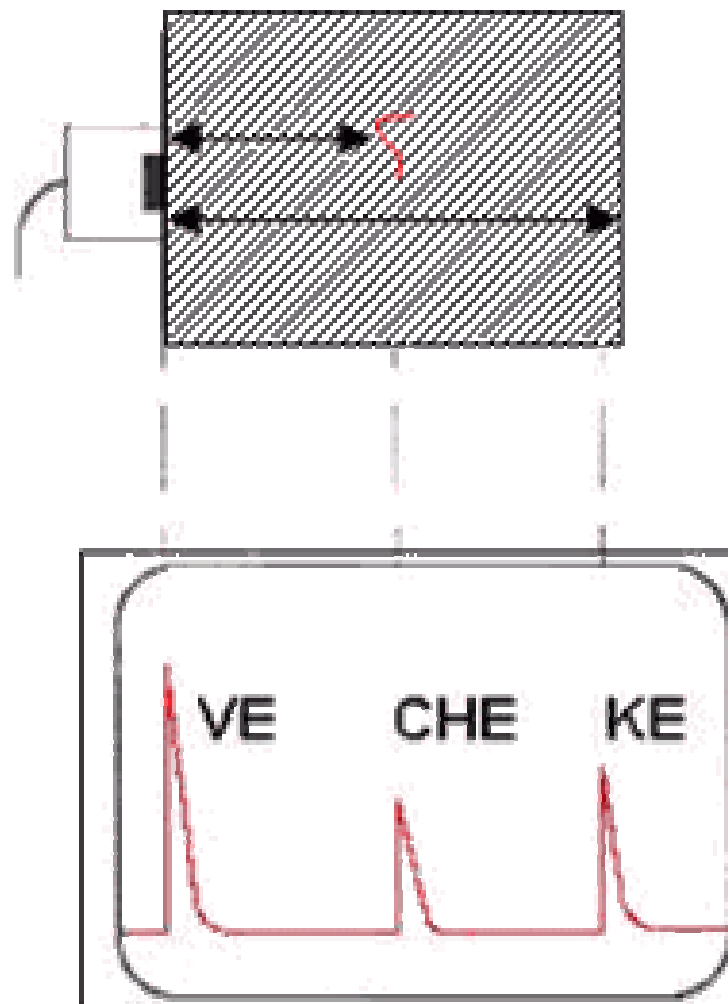
Nevýhodou je, že metóda je všeobecne menej citlivá. Jej rozlišovacia schopnosť je malá a veľmi závisí na hrúbke kontrolovaného predmetu. Hlavné uplatnenie nachádza pri kontrole plechov (najmä tenkých), plátovaných materiálov, ložiskových paniev a pod.



ODRAZOVÁ METÓDA je **najrozšírenejšia metóda** pri nedeštruktívnom skúšaní materiálu ultrazvukom. Je všestranne použiteľná a poskytuje najviac informácií o vyšetrovanom predmete, a to ako aj o jeho necelistvostiach, tak aj o štruktúre materiálu.

Je založená na impulznej činnosti ultrazvukového zdroja. Do kontrolovaného predmetu sa vysielajú krátke ultrazvukové impulzy, ktoré sa odrážajú od povrchu predmetu a jeho vnútorných vád.

Po odraze od materiálu sa ultrazvukové vlny vrátia buď do toho istého alebo druhého meniča (**jednomeničová** alebo **dvojmeničová** činnosť), ktorý pracuje ako prijímač. Časový priebeh impulzu je zobrazovaný na obrazovke.



Kontrola kvality materiálov - Defektoskopia

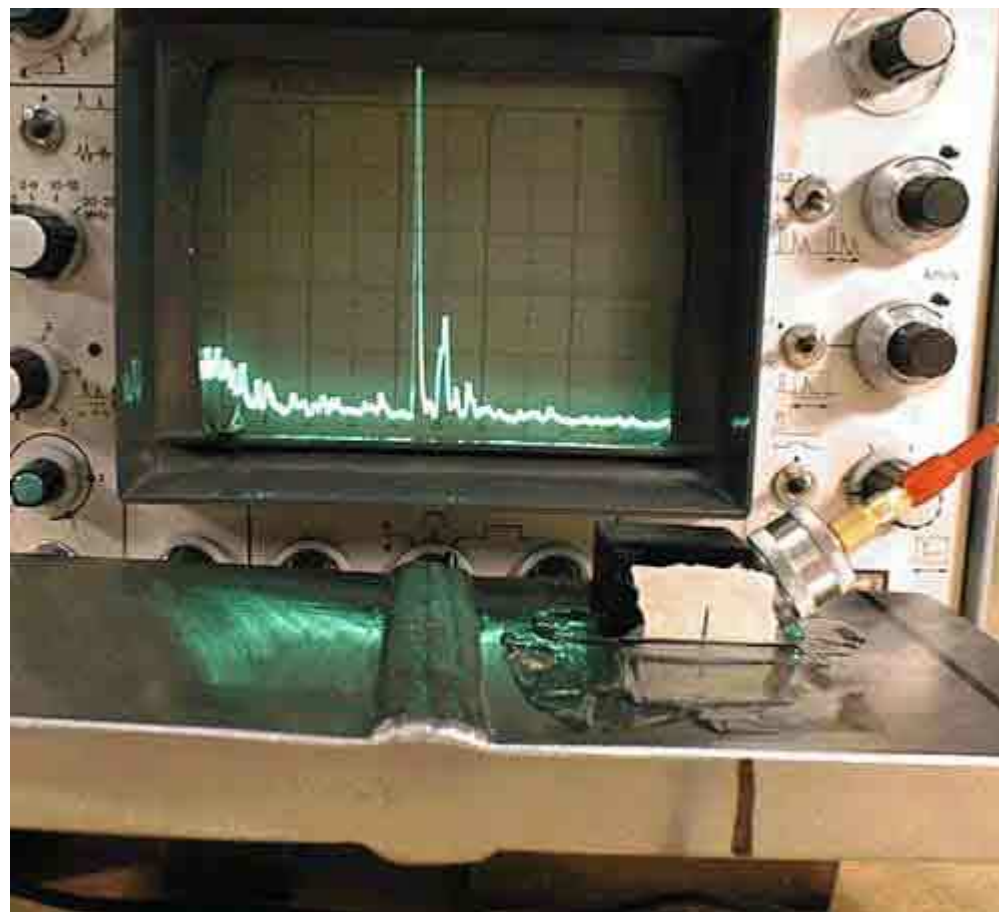
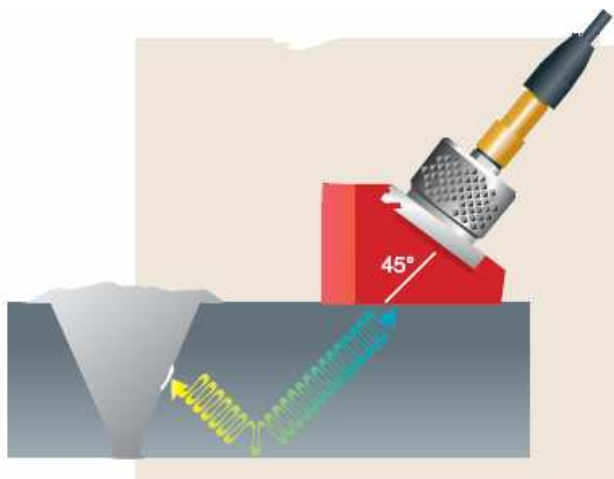
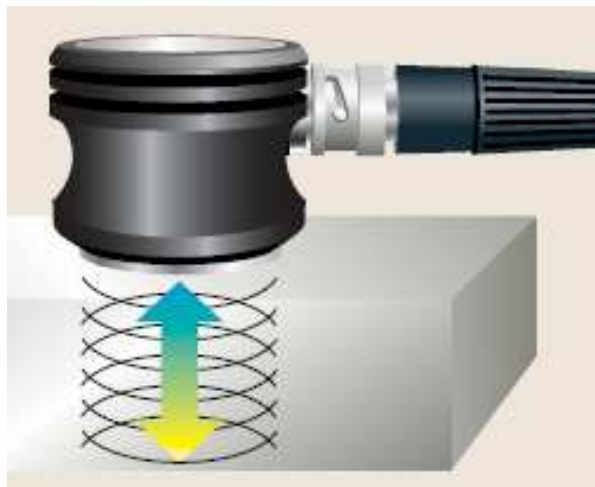


Táto metóda je veľmi citlivá, výsledky je možné dobre reprodukovať. Pri použití odrazovej metódy stačí, keď je prístupná len jedna strana skúšaného predmetu. Je vhodná ku kontrole materiálov hrubších ako 10mm (musíme počítať s tzv. mŕtvou zónou prístroja), ďalej k meraniu hrúbky, stanoveniu útlmu, elastických konštánt materiálu a pod. Pri odrazovej metóde sa používajú dva druhy sond :

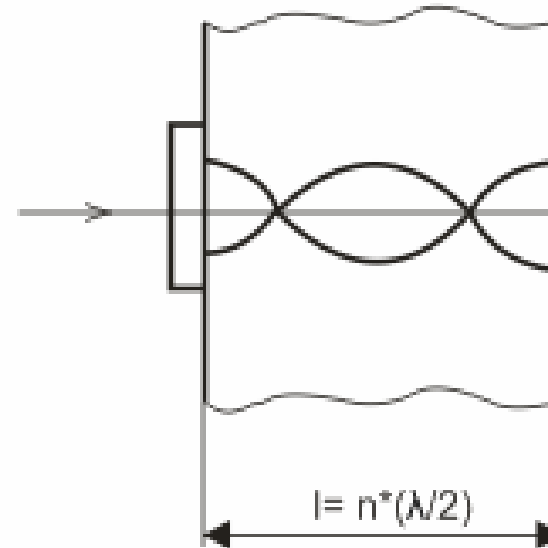
a.) čelné (*priame*) - jednomeničové,
- dvojmeničové,

b.) uhlové

Kontrola kvality materiálov - Defektoskopia



REZONANČNÁ METÓDA je založená na princípe, kedy **do skúšaného predmetu sa vysielajú ultrazvukové vlny, ktorých frekvencia sa mení.**



Ked' sa hrúbka predmetu (plechu) rovná celému násobku polovičnej dĺžky vlny vysielaného ultrazvuku, vznikne v predmete stojaté vlnenie. Pri stojatej vlne vysielateľ dodáva minimálnu energiu do kontrolovaného predmetu, ktorý sa pri stojatej vlne dostane do vlastnej rezonancie buď na základnej, alebo niektorej vyššej harmonickej frekvencii:

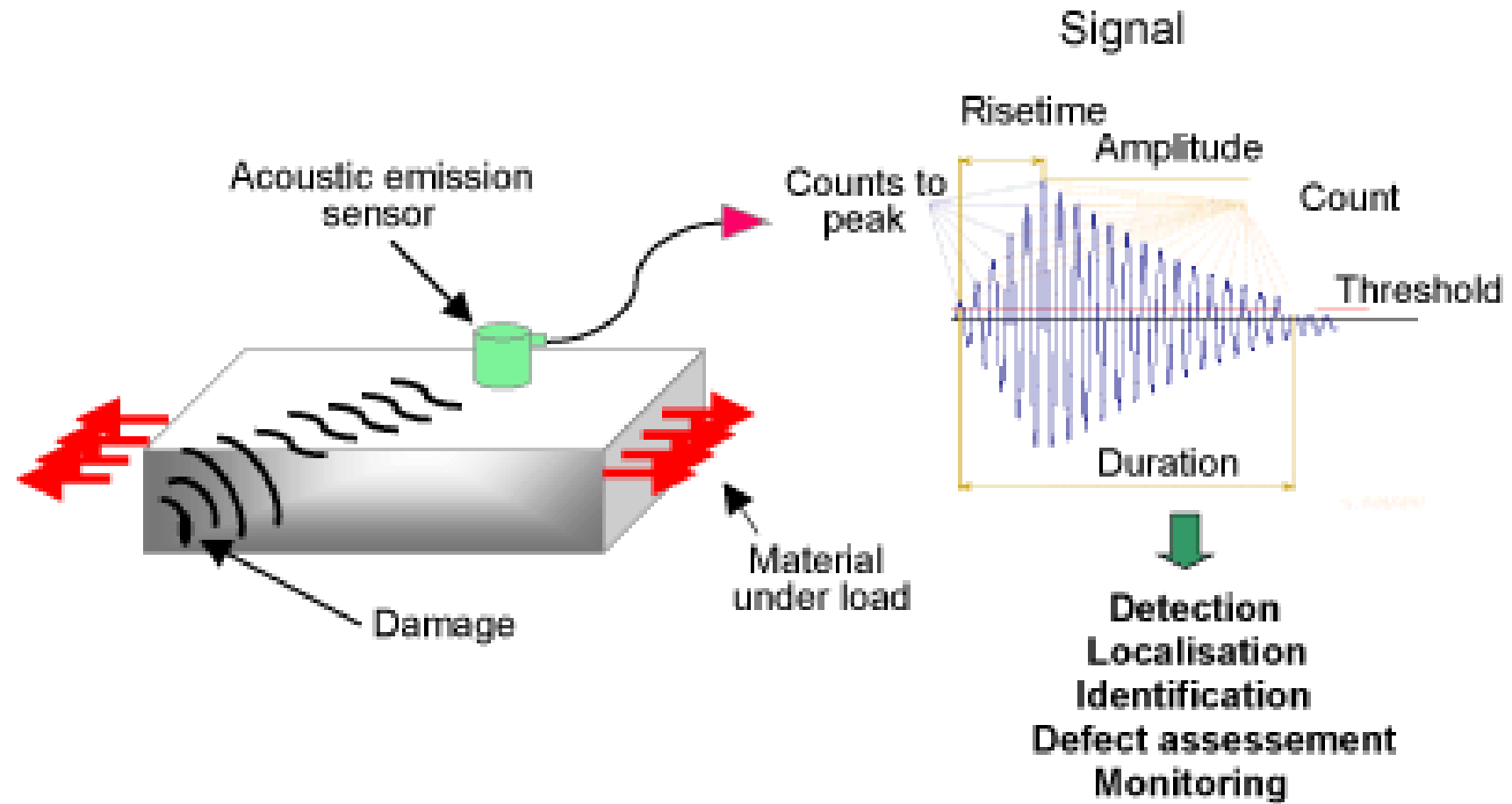
$$d = n \cdot (\lambda / 2) = n \cdot (c / 2f)$$

Táto metóda je určená na meranie hrúbky stien (zhruba od 0,1 do 100mm), môžeme ju použiť na zisťovanie niektorých vhodne orientovaných vád, ktoré sú rovnobežné s povrchom, ako je tomu u zdvojených plechov.

Rezonancia sa nastaví na mieste bez nespojitosti a ak sa porušia podmienky rezonancie, môžeme predpokladať prítomnosť nespojitosti. **Pre meranie stačí ak je prístupná jedna strana.** Rezonančná metóda sa používa už zriedka, pretože bola nahradená metódou odrazovou.

METÓDA AKUSTICKÝCH EMISIÍ je založená na **analýze signálov vznikajúcich pri rozširovaní trhliny v materiály**. Pri zmenách štruktúry materiálu dochádza veľmi často k uvoľneniu merateľných elastických vln. Tento jav nazývame akustickou emisiou.

Obecne je akustická emisia definovaná ako **elastické vlnenie vznikajúce v dôsledku lokálnej, dynamickej a nevratnej zmeny štruktúry materiálu**. Zaradujeme ju medzi nedeštruktívne metódy, aj keď ide o metódu skúšania, ktorá je použiteľná iba v prevádzke pri mechanickom namáhaní materiálu.



Kontrola kvality materiálov - Defektoskopia

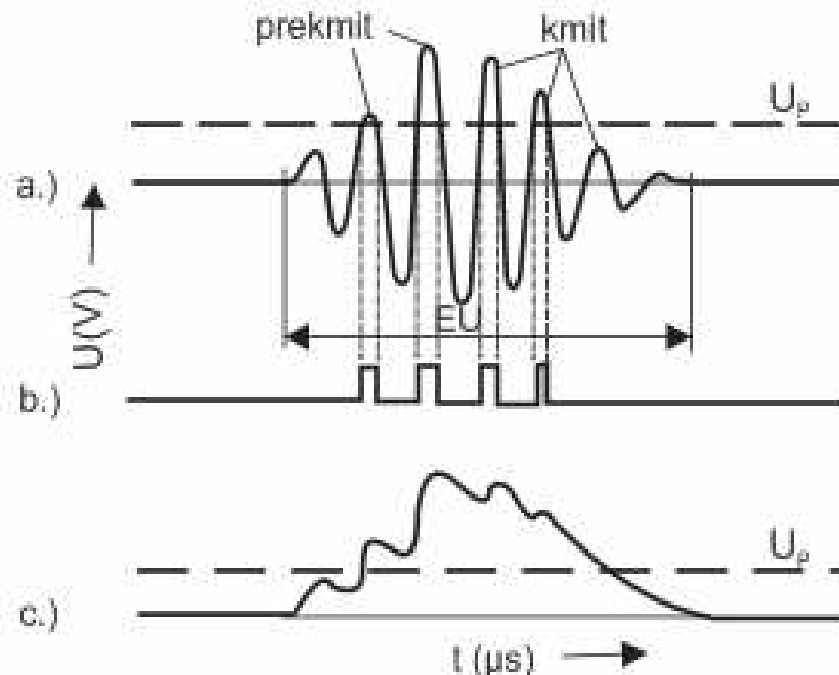
Vznik a šírenie trhliny je doprevádzané uvoľňovaním energie nahromadenej v materiály vo forme vnútorných napätí. Ide teda o pasívnu metódu ultrazvukového skúšania, pri ktorej sa akustické signály iba prijímajú. Tieto signály sú vo forme vysokofrekvenčných impulzov, pričom ich stredné frekvencie sú v rade 10^4 až 10^6 Hz. Prevažná časť emisných udalostí je však v pásme ultrazvukových frekvencií od 100 do 1000 kHz.

Emisná udalosť,

a.) tvar signálu prijímaného snímačom,

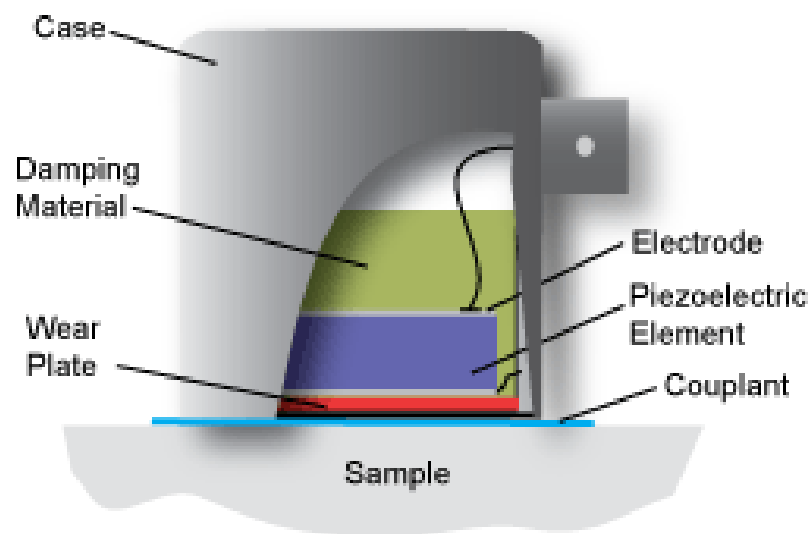
b.) vytvarované prekmity,

c.) obalová krivka emisných udalostí po usmernení a filtrácii



Kontrola kvality materiálov - Defektoskopia

Snímače akustickej emisie sú piezokeramické sondy, prispôsobené pre príjem povrchových vln. Na skúšanie pri vyšších teplotách sa používajú špeciálne pasty.



METÓDA IMPEDANČNÁ je **nízko frekvenčná akustická metóda**.

Iba toto ju spája s metódami ultrazvukovej defektoskopie. Frekvencie vysielané do skúšanej súčasti sú v pásme počuteľných kmitov a to od 2 do 10kHz. **Využívajú sa rozdiely akustických impedancií medzi dobrými a chybnými miestami skúšanej súčasti.** Meria sa amplitúda alebo fáza reakčnej sily „F“, ktorá s impedanciou „Z“ súvisí vzťahom:

$$F = v \cdot Z$$

kde „v“ je akustická rýchlosť.

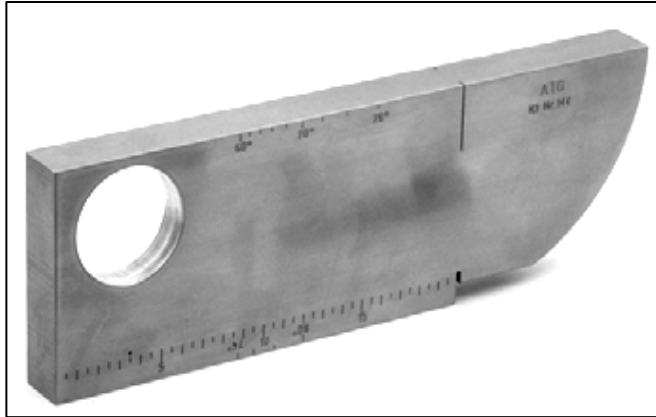
Metóda impedančná sa obvykle využíva na skúšanie **spojených vrstiev**. Do skúšanej súčasti sa zo sondy zavádzajú mechanické kmity do 10kHz. Miesto pod sondou sa rozkmitá ako celok. Zmeny akustickej (mechanickej) impedancie sa prejaví reakciou sily „F“ pôsobiacej na piezokeramický menič v sonde. Porovnáva sa buď pomer amplitúd napätí U_1 / U_2 na prijímacom a vysielačom meniči alebo fáza „ φ “ medzi obidvoma napätiami. V chybnom mieste, napr. pri nespojitostiach, sa impedancia zmení, pretože materiál pod nespojitosťou nekmitá.

Mierky pre kalibráciu UT prístrojov

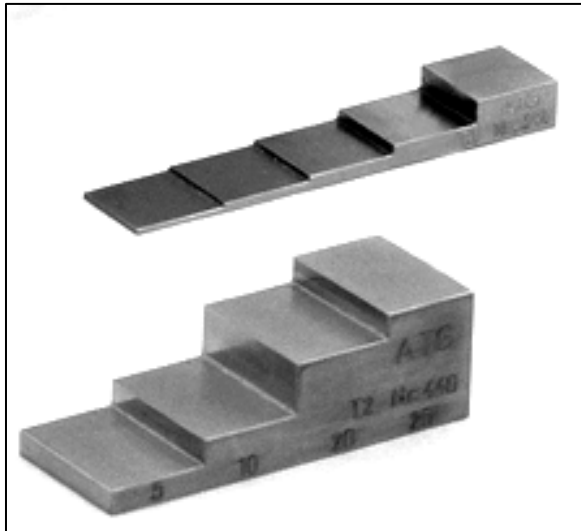
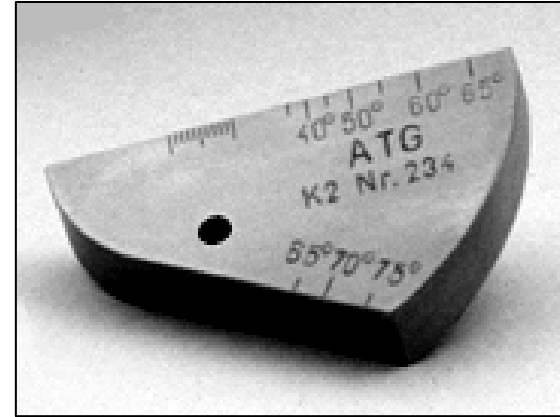
Pre správnu kalibráciu a nastavenie UT prístrojov je potrebné pred meraním každý prístroj správne nastaviť – nakalibrovať. Za týmto účelom sa vyrába široký sortiment mierok. Ako základné kalibračné mierky slúžia: mierky **K1** a **K2**, stupňové **T1** a **T2**, mierka **RC**, mierka **DS**, ASME mierka **B** a **BT**, mierka **CBV** a iné.

Kontrola kvality materiálov - Defektoskopia

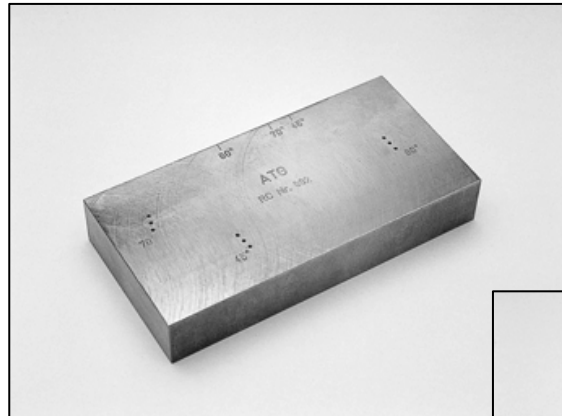
K1



K2

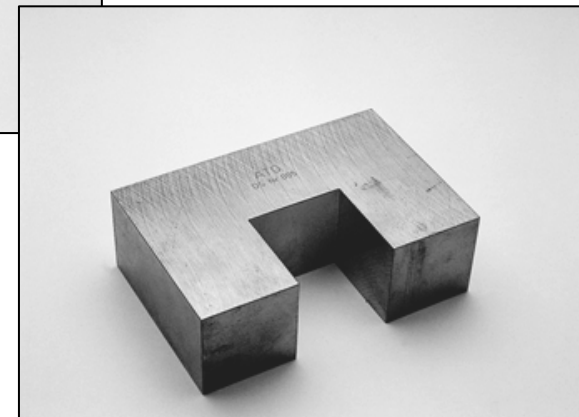


T1 a T2



RC

DS



Ultrazvuková metóda NDT je objemová metóda, to znamená, že je schopná odhaliť vnútorné objemové chyby materiálu ako sú bubliny, póry, neprievary, a hlavne oproti RT rádiografickej metódy aj plošné chyby typu trhlín a pod. V oblasti tlakových nádob je to jedna z najpoužívannejších skúšobných metód nedeštruktívneho skúšania materiálov. UT sú detekované vnútorné chyby plošného typu - trhliny a objemového typu bublina, vmestok, pór, vtrúsenina, geometrických odchýliek apod. u všetkých druhov materiálov.

Kontrola kvality materiálov - Defektoskopia



Kontrola kvality materiálov - Defektoskopia



Kontrola kvality materiálov - Defektoskopia

Kontrola kvality materiálov - Defektoskopia

Kontrola kvality materiálov - Defektoskopia

Kontrola kvality materiálov - Defektoskopia

Kontrola kvality materiálov - Defektoskopia

Kontrola kvality materiálov - Defektoskopia

Kontrola kvality materiálov - Defektoskopia
