

4.ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI MATERIÁLŮ A JEJICH ZKOUŠENÍ

Abychom mohli správně a hospodárně využívat technické materiály, musíme dobře znát jejich vlastnosti a umět je co nejpřesněji zjišťovat.

V technické praxi počítáme u kovů s běžnou technickou čistotou, u slitin s jejich průměrným složením. Je třeba mít na zřeteli, že jak přísady, tak i jen malé množství nečistot mohou velmi výrazně ovlivnit základní vlastnosti kovů a slitin.

Vlastnosti materiálů můžeme rozdělit na:

- Fyzikální vlastnosti
- Chemické vlastnosti
- Mechanické vlastnosti

Fyzikální vlastnosti

Hustota ρ je dána poměrem hmotnosti m k objemu V homogenní látky při určité teplotě.

$$\rho = \frac{m}{V} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

Její velikost závisí na atomové stavbě dané látky. Je tedy závislá na poloze prvku v periodické soustavě prvků. To platí jen tehdy, jsou-li v krystalu obsazena atomy všechna uzlová místa. Ve skutečnosti se vyskytují četné poruchy mřížky (vakance, nečistoty), liší se skutečná hustota od ideální.

Teplota (bod) tání a tuhnutí ϑ (°C) je teplota, při níž látka mění své skupenství. Závisí na vnitřní stavbě kovů. Znalost této teploty je důležitá pro slévárství, pokovování, svařování apod.

Teplota tavení – je teplota asi o 200°C vyšší, než je teplota tání dané slitiny. Touto zvýšenou teplotou se dosahuje u různých slitin stejného přehřátí.

Teplota lití – bývá asi o 50 až 100 °C nad teplotou likvidu.

Látky krystalické, skládající se z jediného prvku nebo jediné sloučeniny, mají pro každý druh látky zcela určitou teplotu tání a tuhnutí. Mnohé slitiny, skla, keramické látky apod. přecházejí se stoupající nebo klesající teplotou z jednoho skupenství do druhého pozvolna. Pro ně je nutné uvádět **teplotní rozsah (interval) tání nebo tuhnutí**. Teplota tání je důležitá též pro eutektické slitiny.

Délková a objemová roztažnost je prodloužení délky nebo zvětšení objemu vlivem zvýšení teploty látky. Je vztažena na počáteční délku nebo objem.

Teplotní součinitel délkové α_l (1/K) a objemové roztažnosti α_v (1/K) je změna délkové nebo objemové jednotky při změně teploty o 1 K. U odlitků, součástí ze spékanych materiálů a součástí z plastů musíme naopak počítat se **smrštivostí**, která je opakem roztažnosti.

Tepelná vodivost λ [W/mK] je množství tepla Q [J], které při ustáleném stavu projde za jednotku času mezi dvěma protilehlými stěnami krychle o délce hrany 1 m, je-li rozdíl teplot mezi těmito stěnami 1 K. Nejlepším vodičem tepla je stříbro. Tepelnou vodivost ostatních kovů zjišťujeme často porovnáním s tepelnou vodivostí stříbra a udáváme ji v procentech. Největší vodivost mají čisté kovy.

Elektrická vodivost G (S) je schopnost vést elektrický odpor. Vodič s odporem 1Ω má vodivost $1 S$ (siemens). Podle vodivosti dělíme materiály na **vodiče** a **nevodiče** neboli **izolanty**. Mezi nimi je skupina materiálů se zvláštními vlastnostmi, kterým říkáme polovodiče (např. selen, germanium, křemík apod.). Elektrickou vodivost posuzujeme podle měrného elektrického odporu ρ .

Měrný elektrický odpor ρ [Ωm] je u vodivých materiálů jako odpor vodiče o průřezu $1 mm^2$ a délce $1 m$ [$\Omega mm^2 m^{-1}$]. Pro méně vodivé a pro nevodivé materiály definujeme ρ jako odpor mezi protilehlými stěnami krychle o straně $1 cm$ ($\Omega cm^2 cm^{-1}$). Nejlepším vodičem elektrického proudu je stříbro, po něm měď, hliník. Nejlepším izolantem by bylo dokonalé vakuum.

Supravodivost je vlastnost některých kovů, jejichž elektrický odpor se při velmi nízkých teplotách (blízkých $0 K$) skokem sníží na nezjistitelnou hodnotu (el.proud prochází vodičem prakticky bez odporu). U čistých kovů je přechod rychlý, u slitin pomalejší. Supravodivost se vyskytuje u kovů i u polovodičů a projevuje se hlavně při stejnosměrném proudu.

Magnetické vlastnosti materiálů se zjišťují z jejich chování v magnetickém poli. Podle velikosti permeability μ lze materiály zařadit do tří skupin.

1. **Diamagnetické látky** mají $\mu < 1$. Patří k nim vodík a většina organických sloučenin, z kovů měď, zlato, rtuť, cín, olovo apod. Znamená to, že tyto kovy nezesilují účinek vnějšího magnetického pole.
2. **Paramagnetické látky** mají $\mu > 1$, ale blízké jedné. Patří k nim kyslík soli vzácných zemin, alkalické kovy, hliník, platina apod. Tyto kovy zesilují účinek vnějšího magnetického pole zcela nepatrně.
3. **Feromagnetické látky** mají μ velmi vysoké a závislé na intenzitě magnetického pole. Patří k nim železo, nikl, kobalt a slitiny chromu a manganu. Feromagnetické látky se dělí podle svých vlastností na **magneticky měkké** a **magneticky tvrdé**.

Magneticky měkké materiály se snadno zmagnetizují, ale i snadno odmagnetizují (nepodrží si své magnetické vlastnosti po zániku vnějšího magnetického pole). Používají se na stavbu obvodů u elektrických strojů a přístrojů.

Magneticky tvrdé materiály se obtížně magnetizují, ale své vlastnosti si podrží i po zániku vnějšího magnetického pole. Používají se na výrobu permanentních (stálých) magnetů.

Chemické vlastnosti

Vlivem chemických účinků různých kapalných nebo plyných prostředí se povrchy součástí často porušují, případně se celé rozruší. U kovů se tomuto jevu říká **koroz**e. Aby bylo možno korozí zamezit nebo ji zpomalit, je nutno vědět, jak jí daný materiál odolává, tzn. znát jeho odolnost proti korozí. Toto zjištění je obtížné, protože korozie závisí nejen na druhu látky, jakosti povrchu, zpracování apod., ale i na mnoha vnějších vlivech (koncentraci, teplotě a pohybu korozního činidla apod.). Proto je snahou při zkouškách v laboratořích napodobit co nejvěrněji skutečné provozní podmínky, nebo dokonce se zkouší materiály ve skutečném provozním prostředí.

Při **korozních zkouškách v přírodě** (dlouhodobé zkoušky) se umísťují vzorky zkoušených materiálů přímo do provozních podmínek nebo do míst s nejnepříznivějšími podmínkami (např. námořní lodě, tropikalizační stanice apod.). Materiál pro zařízení v chemickém průmyslu se zkouší často pomocí vzorků přímo v pracovním prostředí.

Korozními zkouškami v laboratořích (krátkodobé zkoušky) se získá přehled o korozní odolnosti materiálů v chemicky působících kapalinách nebo plynech. V laboratoři lze uměle připravit nepříznivé klimatické poměry (**mikroklima**) v klimatizačních komorách.

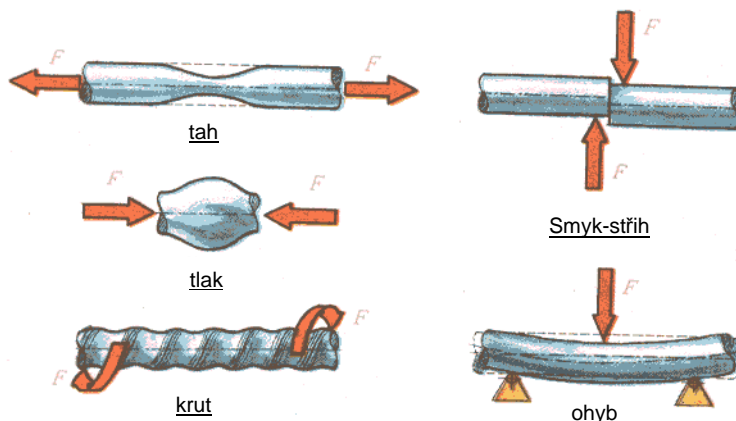
Velikost korozie se obvykle udává úbytkem hmotnosti kovu v gramech na $1 cm^2$ plochy za určitý čas ($g cm^2 h^{-1}$).

Jinou chemickou vlastností je **odolnost proti opalu**, tj. **oxidaci za vyšších teplot**. Nazývá se **žárovzdornost**.

Odolné proti opalu musí být ty části strojů a zařízení, které musí dlouhodobě odolávat žáru (teplota zhruba nad $600^{\circ}C$). Jsou to např. kotle, rošty, kotlové trubky aj. Tuto odolnost získávají slitiny přidáním žárovzdorných prvků, jako např. hliníku, chromu, křemíku.

Mechanické vlastnosti

Při zpracování i při použití jsou materiály vystaveny různému namáhání, jako **je tah, tlak, krut, střih a ohyb**. Tato namáhání obvykle nepůsobí samostatně (jednotlivě) ale naopak působí většinou současně jako kombinace dvou i více namáhání prostých (např. tah a ohyb, nebo tah, ohyb a krut). Aby jim materiál mohl odolávat, musí mít určité vlastnosti, **jako pevnost, tvrdost, pružnost, tvárnost** aj.



Základní druhy namáhání materiálu

Na mechanické vlastnosti materiálů má značný vliv také teplota. Při určitých teplotách se mění krystalická struktura materiálů a tím se mění i jejich mechanické vlastnosti.

Druhy zkoušek mechanických vlastností materiálů

Z hlediska působení síly na zkušební těleso rozdělujeme mechanické zkoušky na:

Statické zkoušky, při nichž zatížení zvětšujeme poměrně zvolna. Působí obvykle minuty, při dlouhodobých zkouškách dny až roky.

Dynamické zkoušky rázové a cyklické, při kterých působí síla nárazově po zlomek sekundy. Při cyklických zkouškách (zkoušky na únavu materiálu) se proměnné zatížení opakuje i mnoha cykly za sekundu až mnoha milionů jejich celkového počtu

Zvláštní technické zkoušky, jejichž údaje je možné považovat za směrné, neboť výsledky zkoušek zde závisí na mnoha vedlejších činitelích. Z těchto zkoušek jsou nejdůležitější zkoušky tvrdosti. Podle teplot, při kterých zkoušky provádíme, je dělíme na **zkoušky za normálních, vysokých a nízkých teplot**.

Mechanické zkoušky se většinou neprovádějí na součásti, ale na zvláštních vzorcích zhotovených buď přímo ze součásti nebo z téhož materiálu.

Mechanické zkoušky statické

Základem těchto zkoušek jsou zkoušky pevnosti. Podle způsobu působení zatěžující síly rozdělujeme tyto zkoušky na **zkoušky pevnosti v tahu, tlaku, ohybu, krutu a střihu**

Zkoušky pevnosti se mohou provádět na stroji jednoúčelovém nebo univerzálním.

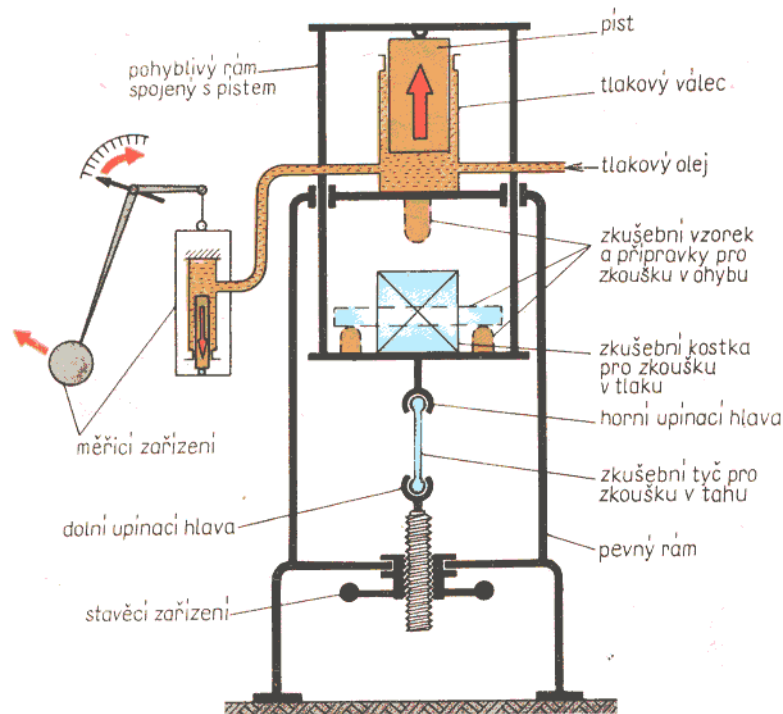


Schéma univerzálního zkušebního stroje pro zkoušku tahem, tlakem a ohybem

Univerzální zkušební stroj (viz. obr.) se skládá z rámu, upínacího ústrojí, zatěžovacího ústrojí, z měřicího a registračního zařízení. Do tlakového válce se přivádí tlakový olej, tím se zvedá pohyblivý (vnitřní) rám stroje. Zkušební tyče pro zkoušku pevnosti v tahu se upínají do upínacích hlav. Zkouška pevnosti v tlaku se koná na zkušební kostce nebo válečku, položeném na desce pohyblivého rámu. Při zkoušce pevnosti v ohybu se pokládá zkušební vzorek na dvě podpěry a namáhání je vyvozeno ohýbacím trnem připevněným na horní desku pevného rámu. Měřicí zařízení (tzv. kyvadlový manometr) je spojeno potrubím s pracovním prostorem tlakového válce. Tlak působící na píst měřicího tlakového válce je vyvážen kyvadlem se závažím. Ručička na ramenu páky kyvadla ukazuje na stupnici měřicího zařízení zatížení v N.

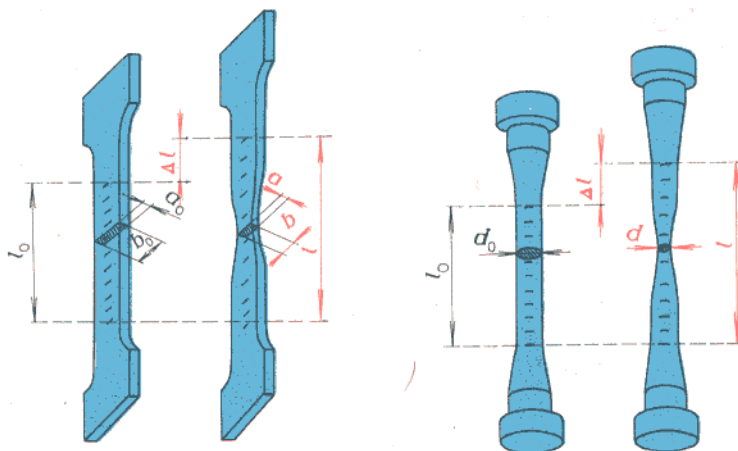
ZKOUŠKY PEVNOSTI

Zkouška tahem (trhací) ČSN 42 0310

je nejrozšířenější statickou zkouškou. Je nutná téměř u všech materiálů, protože jí získáváme některé základní hodnoty potřebné pro výpočet konstrukčních prvků a volbu vhodného materiálu. Zkoušky tahem se zpravidla nedělají přímo na vyrobené součásti, ale na zkušebních tyčích, jejichž tvary a rozměry jsou normalizovány.

Zkušební tyče mohou být kruhové nebo ploché, krátké nebo dlouhé. Zkušební tyče kruhové, krátké i dlouhé, se liší tvarem hlav. Volí se podle zkoušeného materiálu a upínacího zařízení trhacího stroje, které bývá výměnné.

Vlastní měřená délka l_0 závisí na průřezu zkušební tyče a je při kruhovém průřezu tyče **$10 d_0$** a u tyčí krátkých **$5 d_0$** (d_0 = průměr zkušební tyče). Aby bylo možné měřit prodloužení zkušební tyče po přetržení, vyznačí se na ní před zkouškou rysky ve vzdálenosti 10 mm. Trhací zkouškou zjišťujeme **pevnost v tahu, poměrné prodloužení tažnost a zúžení (kontrakci)** zkoušeného materiálu.



. Tvary zkušebních tyčí pro zkoušku tahem

U všech statických zkoušek vzniká v materiálu napětí. Je to míra vnitřních sil, které vznikají v materiálu působením sil vnějších. Číselná hodnota napětí se určí jako podíl síly a plochy, na níž síla působí. Rozeznáváme **napětí normálové** σ (tah, tlak, ohyb) a **tečné (smykové)** τ . Podíl síly a skutečné plochy průřezu v kterémkoliv okamžiku zkoušky se nazývá **skutečné napětí** σ . Běžně se však používá **smluvní jmenovité napětí** R , protože se neuvažuje změna průřezu tyče. Zatížení se proto vztahuje na počáteční průřez tyče S_0 .

Pevnost v tahu R_m (σ_{Pt}) je smluvní hodnota napětí daného podílem největší zatěžující síly F_m , kterou snese zkušební tyč a původního průřezu tyče S_0 .

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} \quad (\text{MPa}) = (\text{N/mm}^2)$$

Byla-li původní délka zkušební tyče L_0 a délka zjištěná po přetržení L_u , je celkové (absolutní) prodloužení (změna délky):

$$\Delta L = L_u - L_0$$

Poměrné prodloužení ε je dáno poměrem změny délky ΔL k původní délce tyče L_0 .

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L_u - L_0}{L_0} \quad (1)$$

Tažnost A je poměrné prodloužení v procentech počáteční délky:

$$A = \varepsilon \cdot 100 \quad (\%)$$

Uvádí se s indexem (A_5 , A_{10}), zda byla získána na krátké nebo dlouhé tyči.

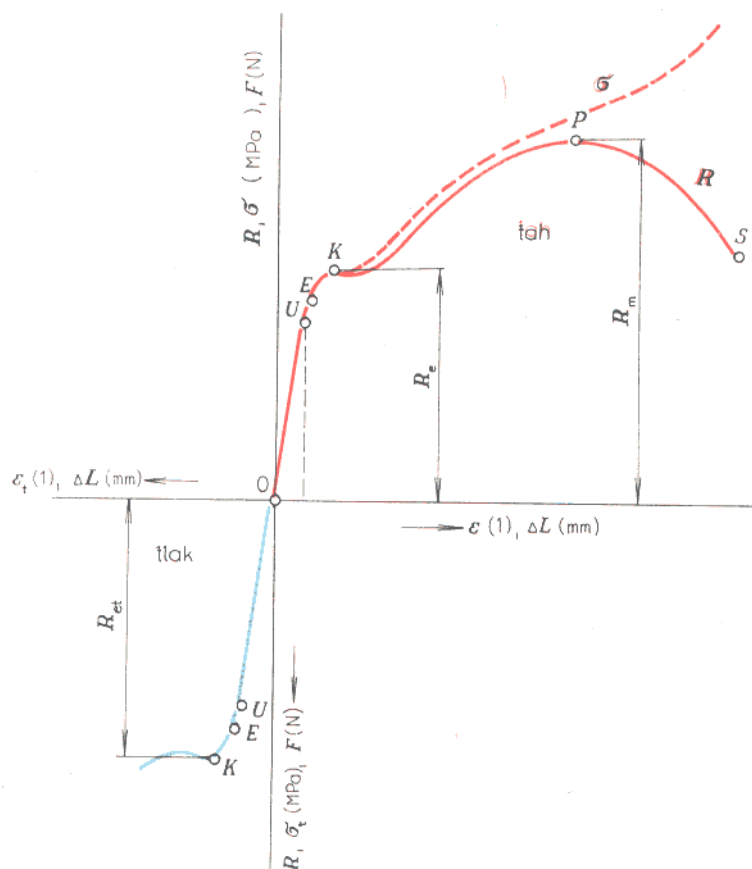
Kontrakce Z je dána poměrem zúžení průřezu tyče po přetržení ($S_0 - S_u$) k původnímu průřezu tyče S_0 , vyjádřený v procentech:

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \cdot 100 \quad (\%)$$

Pevnost v kluzu (mez pevnosti v kluzu) je napětí, při němž se zkušební tyč počne výrazně prodlužovat, aniž by stoupala zatěžující síla, nebo při němž nastává prodlužování doprovázené poklesem zatěžující síly.

$$R_e = \frac{F_e}{S_0} \quad (\text{MPa})$$

U uhlíkových ocelí (žíhaných) bývá poměr $R_e : R_m = 0,5 - 0,6$ u slitinových až 0,9



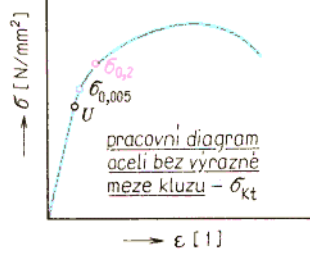
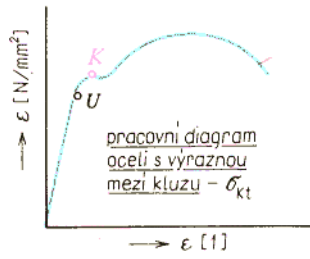
Pracovní diagram zkoušky tahem a tlakem u měkké uhlíkové oceli

Zapísovací zařízení trhacího stroje kreslí v průběhu trhací zkoušky na milimetrový papír, upnutý na bubínek registračního přístroje, **pracovní diagram**, který udává závislost poměrného prodloužení ε na napětí σ (nebo celkové prodloužení ΔL na zatěžující síle F). Pro výpočty namáhání má význam jen diagram $\varepsilon - \sigma$.

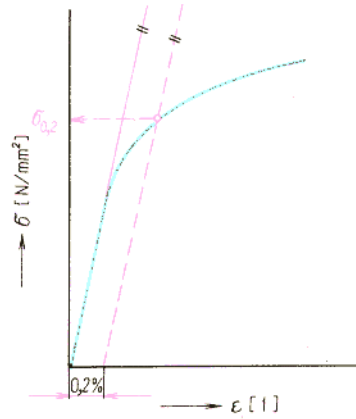
V diagramu je zpočátku závislost $\varepsilon - \sigma$ přímková a to až do bodu **U**. Napětí odpovídající bodu **U** je definováno jako napětí, při němž je **prodloužení** ještě **přímo úměrné napětí (Hookův zákon)**.

V dalším průběhu zkoušky přestává být prodloužení přímo úměrné zatížení. Až do bodu **E** je deformace prozrná (elastická), tj. po úplném odlehčení nabývá zkušební tyč počáteční délky.

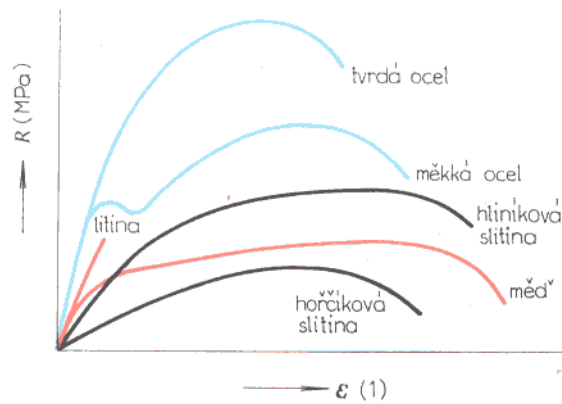
U některých materiálů prodleva nenastane a mez kluzu nelze zjistit. Proto jako běžnou smluvní hodnotu bereme napětí, které způsobí trvalé prodloužení 0.2%. Zjišťuje se graficky nebo průtahoměry.



Pracovní diagram oceli
s výraznou mezí kluzu a oceli bez
výrazné meze kluzu



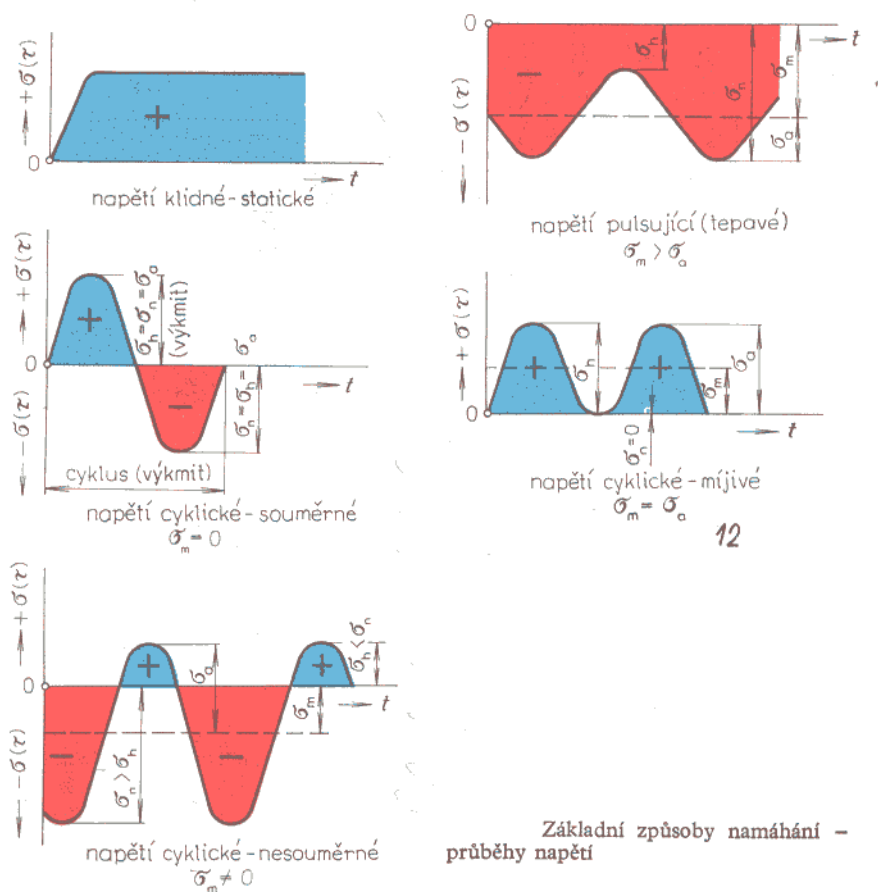
Grafické stanovení $\sigma_{0,2}$
z pracovního diagramu



Příklady pracovních diagramů různých kovů a slitin

MECHANICKÉ ZKOUŠKY DYNAMICKÉ

V praxi jsou většinou strojní součásti namáhány zatížením, jehož velikost a smysl se prudce, popřípadě opakovaně mění. Potřebné údaje o chování takto namáhaného materiálu nemůžeme zjistit statickými, ale dynamickými zkouškami. Při tomto namáhání dochází často k náhlému porušení materiálu, i když zatěžující síla ještě nedosáhla statické pevnosti materiálu.



ZKOUŠKA RÁZEM

Slouží k zjištění, kolik práce nebo energie se spotřebuje na porušení zkušební tyče. Zkouší se nejčastěji jedním rázem, kdy na porušení zkušební tyčky se použije najednou dostatečného množství energie. Rázem lze zkoušet pevnost v tahu, tlaku, ohybu nebo krutu.

Zkouška rázem v ohybu je nepoužívanější a je dobrým ukazatelem houževnatosti nebo křehkosti materiálů. Nepoužívanější je **zkouška vrubové houževnatosti** (ČSN 42 03 81) na Charpyho kyvadlovém kladivu. Těžké kladivo, otočné kolem osy, se zdvihne a upevní v počáteční poloze. V nejnižší poloze kladiva se umístí ve stojanu kyvadlového kladiva zkušební tyč ze zkušeneho materiálu.

Po uvolnění z počáteční polohy se kladivo pohybuje po kruhové dráze, narazí na zkušební tyč, přerazí ji a vykřívne do konečné polohy. Tato poloha je nižší než poloha počáteční, protože na přeražení zkušební tyče se spotřebovala určitá práce. Tato práce se nazývá spotřebovaná nárazová práce (energie) a značíme ji $K(U,V)$ [J] :

$$K(U,V) = E_1 - E_2 = G \cdot (h_1 - h_2) \text{ [J]}$$

Dále lze vypočítat **vrubovou houževnatost**:

$$KC(U,V) = K(U,V) / S_0 \text{ [J/ m}^2\text{]}$$

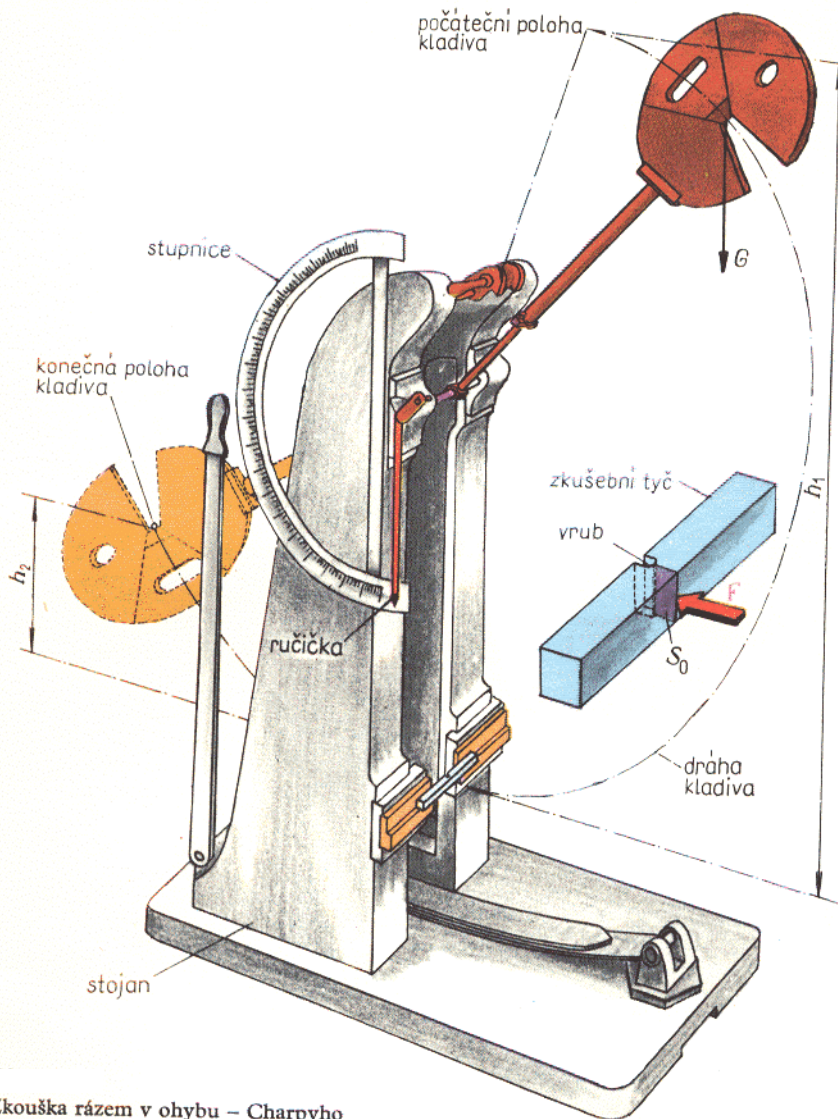
$K(U,V)$ - nárazová práce (energie)

S_0 – počáteční nejmenší průřez v místě vrubu (cm^2)

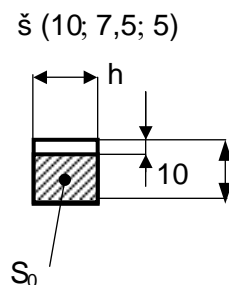
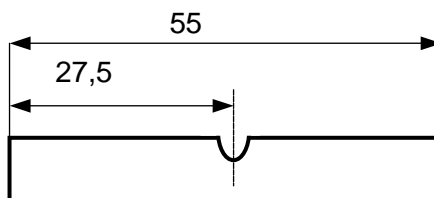
$KC(U,V)$ - vrubová houževnatost

Příklad: **KCU 150/2/7,5**

U – typ vrubu **150** – max.energie kladiva **2** – hloubka vrubu **7,5** – šířka tyčky



Zkouška rázem v ohybu – Charpyho kyvadlové kladivo

Zkušební tyčka:

h= 2, 3, 5

Tvar vrubu	Rozměry		Náraz.práce (J)	Vrub.houž. (J.cm ³)
	š (mm)	h (mm)		
U	10	2	KU2	KCU2
	10	3	KU3	KCU3
	10	5	KU	KCU
	5	2	KU2/5	KCU2/5
V	10	2	KC	KCV

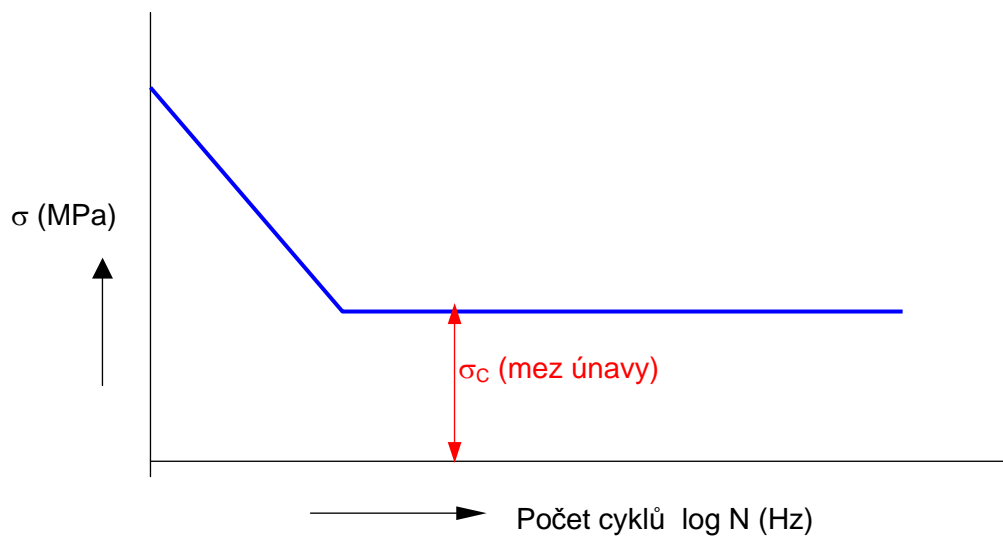
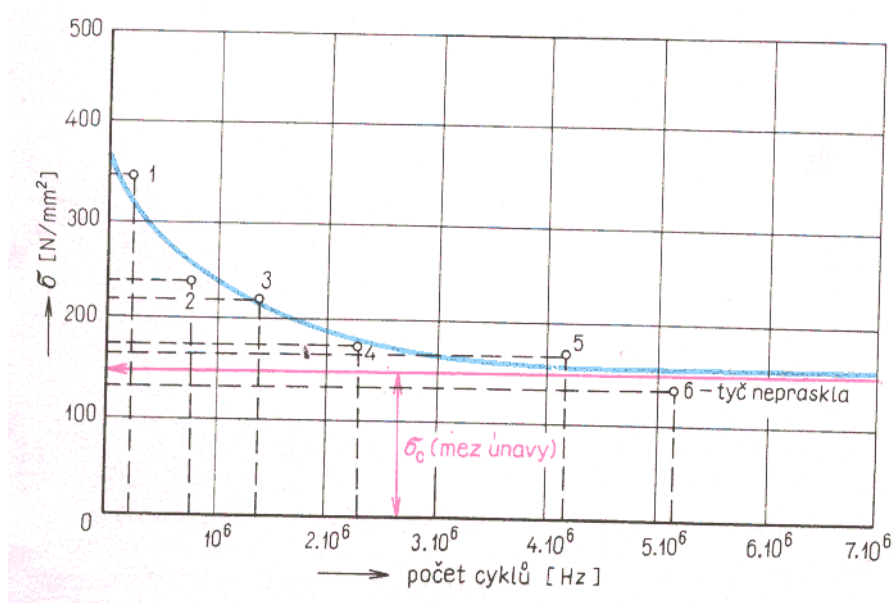
ZKOUŠKY OPĚTOVNÝM NAMÁHÁNÍM

Říkáme jim také zkoušky únavy materiálu. Při namáhání součástí vznikají často poruchy dříve (tj. i při značně nižším napětí), než odpovídá jeho statické pevnosti. Tomuto jevu říkáme **únava materiálu**. Při zkoumání se ukázalo, že nebezpečí lomu z únavy je jen při překročení určité hranice, kterou nazýváme **mez únavy**. Mez únavy zjišťujeme na speciálních zkušebních strojích. Pro střídavé napětí souměrné a nesouměrné stanovíme mez v kombinaci tah - tlak (σ_C), v ohybu (σ_{CO}) a v krutu (τ_C). Při napětí pulsujícím a míjivém určujeme mez únavy v tahu, tlaku, ohybu a krutu. Provedení těchto zkoušek, velikost a tvar zkušebních tyčí určuje ČSN 42 03 63.

WÖHLEROVA KŘIVKA

Dle ČSN 42 03 63 se používá několika stejných zkušebních tyčí ze zkoušeného materiálu a zatěžují se jedním z uvedených způsobů. První tyč se zatíží něco málo pod mezí kluzu a po porušení tyče se odečte příslušný počet cyklů změn zatížení. Tím získáme bod 1. Další tyče se zatíží menším napětím, čímž se dosáhne většího počtu cyklů před porušením bod 2. Tak se postupuje i u ostatních tyčí a získají se další body. Tím nám vzniká Wöhlerova křivka, která nám udává závislost mezi napětím a počtem cyklů.

KONSTRUKCE WÖHLEROVY KŘIVKY - ZJIŠŤOVÁNÍ MEZE ÚNAVY



MEZ ÚNAVY (σ_c) (MPa)

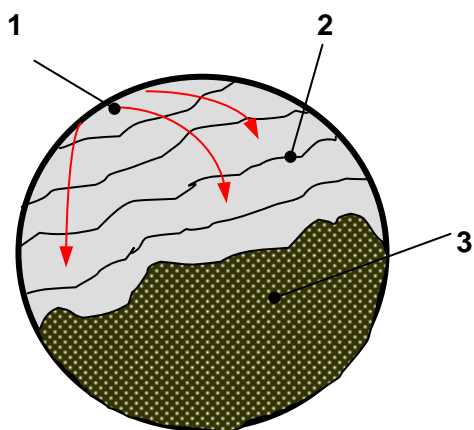
Definujeme ji jako největší napětí, při kterém součást zhotovená z tohoto materiálu vydrží teoreticky neomezený počet cyklů změn zatížení.

Únava materiálu souvisí nejen s jeho vlastnostmi, ale i se stavem jeho povrchu (drsnost, vruby, povrchová korozie atd.) snižují mez únavy. Leštění, povrchové tvrzení nebo mechanické zpevnění povrchu naopak mez únavy zvyšují.

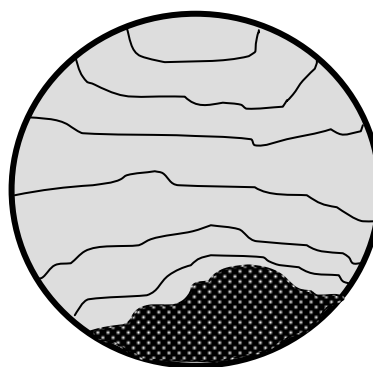
LOMY

Na základě únavového lomu můžeme zjistit způsob zatěžování, houževnatost, velikost napětí atd.

Vysoké napětí:



Nízké napětí:



- 1 – počátek šíření trhliny
- 2 – oblast šíření únavového lomu (lasturovitého vzhledu)
- 3 – statický lom (křehký)

ZKOUŠKY TVRDOSTI

Tvrdość jako jedna z mechanických vlastností, má hlavně u kovových materiálů mimořádnou důležitost, neboť ze všech vlastností materiálu ji můžeme zjistit nejrychleji, nejlevněji a i na předmětech nejmenších rozměrů. Z tvrdosti často usuzujeme i na některé další vlastnosti materiálu (pevnost v tahu, obrobitelnost apod.). Zkouší se buď na zkušebních vzorcích nebo přímo na hotových výrobcích.

Tvrdość definujeme jako odpor, který klade materiál proti vnikání cizího tělesa. Na této definici je založena většina přístrojů k měření tvrdosti.

Zkoušky tvrdosti rozdělujeme na :

- 1) **Statické** – HB, HV, HRA, HRB, HRC, Shore
- 2) **Dynamické** - Poldi kladívko, Shoreho skleroskop, duroskop, odrazové zkoušky

Zkoušky tvrdosti dále můžeme rozdělit na:

- a) vrypové
- b) vnikací
- c) odrazové

Zkouška vrypová – dnes se používá jen pro tvrdé a křehké materiály (sklo, porcelán). V technické praxi se používá zkouška podle Martense.

Zkouška vnikací – nejpoužívanější zkouškou tvrdosti materiálů. Při této zkoušce zatlačujeme do zkušebního materiálu velmi tvrdé těleso (kulička, kužel, jehlan) a měřítkem tvrdosti je velikost vzniklého vtisku (plocha, hloubka nebo úhlopříčka).

Zkouška tvrdosti podle Brinella

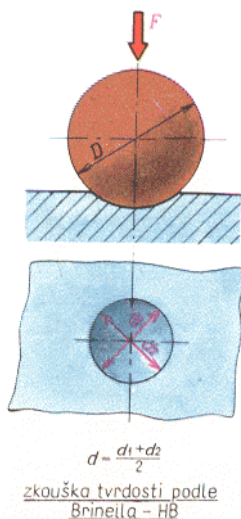
Používá se především pro zkoušení tvrdosti měkké oceli, šedé litiny, nezelezných kovů (Cu, Sn, Pb, Al a jejich slitin).

Tvrdość zjišťujeme vtačováním kalené ocelové kuličky o průměru $D = 10, 5, 2,5, 1 \text{ mm}$ rovnoměrně stupňovanou silou $F = 300.D^2, 100.D^2, 50.D^2, 25.D^2 \text{ N}$, po dobu $t = 10, 30, 60, 120, 180 \text{ s}$, do lesklé rovné plochy zkušebního vzorku nebo zkoušené součásti. Zkouší se na Brinellově tvrdoměru. Tvrdość určujeme podle průměru vtisku, který měříme dvakrát (kolmo na sebe), abychom vyloučili chyby vzniklé nepřesností vtisku. Pro praktickou potřebu jsou sestaveny tabulky, ve kterých podle průměru vtisku d a velikosti použité síly F najdeme přímo odpovídající tvrdost.

Označení tvrdosti:

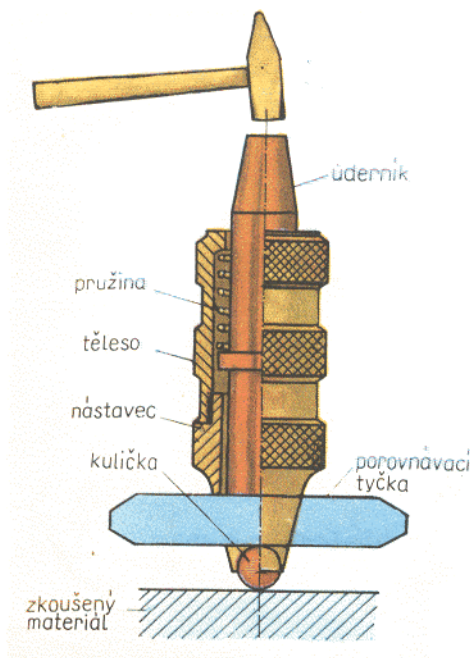
180HB/5/7500/30

Pro nejběžnější podmínky, tj. HB 10/30 000/10 používáme označení jen **200 HB**

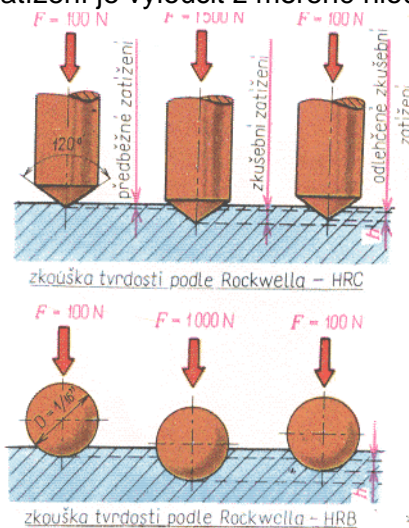


Přesnost měření závisí na správném proměření vtisku a drsnosti povrchu měřeného předmětu. U Brinellovy zkoušky je toto proměření obtížné a nepřesné, což je její nevýhodou. Vtisk bývá někdy nezřetelný a nesouměrný. Na průměr vtisku má velký vliv i vtažení materiálu po okraji vtisku (u materiálů neztvrdnutého) nebo naopak vytlačení obvodového valu (u ztvrdnutého materiálu). Příčinou další chyby je deformace použité kuličky (je z kalené oceli). Pro materiály tvrdší než HB=400 není již ocelová kulička vhodná a používá se kuličky ze slinutých karbidů. Není vhodná pro kalené předměty.

Pro malé dílny, sklady, montáže nebo zkušební účely na stavbách se používají jednoduché **ruční přenosné tvrdoměry POLDI**. Principem je porovnání známé pevnosti materiálu porovnávací tyčinky s pevností zkoušeného materiálu. Tvrdoměr přiložíme ke zkoušenému předmětu a kladívkem udeříme na úderník. Ocelová kulička se úderem kladívka zatlačí do zkoušeného materiálu a vytvoří v něm vtisk. Současně se však kulička vtiskne i do porovnávací tyčinky. Lupou se změří průměry vtisků na zkoušeném materiálu i na porovnávací tyčce. V tabulkách, které jsou ke každému tvrdoměru přiloženy, vyhledáme příslušné číslo tvrdosti podle velikosti vtisku.



Tvrdość podle Rockwella zjišťujeme na Rockwellově tvrdoměru jako rozdíl hloubky vtisku kalené ocelové kuličky nebo diamantového kužele mezi dvěma stupni zatížení (předběžného a celkového). Účelem předběžného zatížení je vyloučit z měřené hloubky nepřesnosti povrchových ploch.



Diamantový kužel nebo ocelovou kuličku, dotýkající se povrchu zkoušeného předmětu, nejprve předběžně zatížíme silou 98 N, což je výchozí poloha pro měření hloubky vtisku. Potom zvolna zvětšujeme zatěžovací sílu tak, abychom za cca 6 sekund dosáhli zatížení předepsané normou (např. předběžné zatížení silou 98 N + zkušební zatížení silou 1373 N = celkové zatížení silou 1471 N). Potom zatěžující sílu opět zmenšujeme až na 98 N a v tomto stavu zjistíme přírůstek h hloubky vtisku, který nastal proti výchozí poloze při 98 N. Naměřenou tvrdost odečteme na číselníku ukazatele. Je to zkouška rychlá, snadná, vpichy jsou velmi malé. Je vhodná pro běžnou kontrolu velkých sérií výrobků.

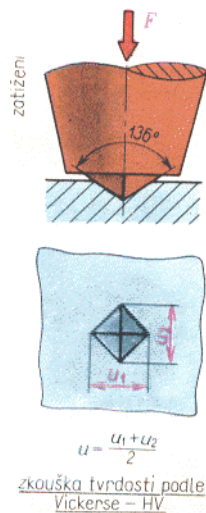
Tvrdot zjištěnou při těchto zkouškách označujeme **HRA, HRB, HRC**.

HRA je tvrdost určená diamantovým kuželem při celkovém zatížení 588 N (pro křehké materiály a tenké povrchové vrstvy).

HRB je tvrdost určená kalenou ocelovou kuličkou o průměru 1/16" při celkovém zatížení 980 N (pro měkké kovy).

HRC je tvrdost určená diamantovým kuželem při celkovém zatížení 1471 N.

Tvrdot podle Vickerse HV se zkouší na Vickersově tvrdoměru. Do materiálu vtlačujeme diamantový jehlan se čtvercovou základnou a okulárem mikroskopu nebo projekcí zjistíme střední délku u obou úhlopříček. Pro praktickou potřebu se používá tabulek, ve kterých se podle délky úhlopříčky u a použité síly F najde odpovídající tvrdost **HV**.



Mikrotrvdost. Pro velmi tenké materiály nebo malé předměty (fólie, strukturní složky materiálů aj.) používáme mikrotrvdoměry, nejčastěji s diamantovým jehlanem (Vickers) a malým zatížením (0,005 až 1 N). Mikrotrvdoměry jsou buď samostatné nebo jsou součástí metalografického mikroskopu.

Zkouška odrazem. Touto metodou tvrdost z velikosti odskoku tvrdého tělíška spuštěného z určité výšky od zkoušeného materiálu. Přístroj se nazývá **Shoreův skleroskop** a stanoví se jím **tvrdost podle Shorea HSh**.

TECHNOLOGICKÉ ZKOUŠKY

Technologické vlastnosti jsou vlastnosti, které úzce souvisí se zpracováním materiálu na výrobek. Proto se snažíme při jejich zkoušení přiblížit podmínkám, při nichž bude materiál zpracováván.

1) ZKOUŠKY PLECHŮ

- a) Hlubokotažnosti – podle Erichsena
- b) Lemová
- c) Kapesníčková

2) ZKOUŠKY DRÁTŮ

- a) střídavým ohýbáním
- b) kroucením
- c) navíjením

3) ZKOUŠKY PLOCHÉHO A TYČOVÉHO MATERIÁLU

- a) lámavost za studena
- b) rozkováním (za tepla)
- c) děrováním (za tepla)

4) ZKOUŠKY TRUBEK

- a) rozháněním
- b) lemováním
- c) zmáčknutím
- d) přetlakem

5) ZKOUŠKY PROKALITELNOSTI (JOMINY)

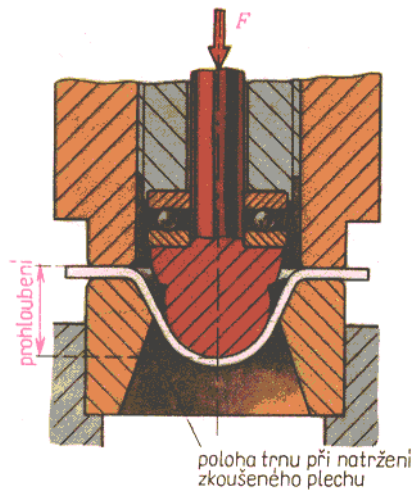
6) ZKOUŠKY DRUHU MATERIÁLŮ (JISKROVÁ)

7) ZKOUŠKY SVAŘITELNOSTI

8) ZKOUŠKY OBROBITELNOSTI

Zkoušky plechů podle Erichsen, lemová a kapesníčková

Erichsenova - udává pro plechy a pásy hlubokotažnost, jako prohloubení. Prohloubení je dráha, kterou vykoná trn ve zkušebním přístroji z nulové polohy do polohy, v níž začíná natržení plechu.



Poloha trhliny koncentrická



vhodné pro tváření

Poloha trhliny radiální



nehodné pro tváření

Lemová a kapesníčková zkouška:

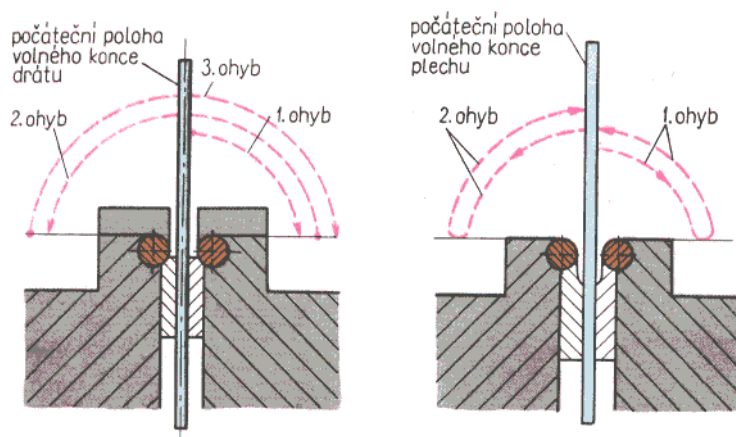


1.ohyb

Zkouška drátů

1, STŘÍDAVÝM OHYBEM - udává odolnost drátu proti střídavému ohýbání jako počet ohybů zkušebního vzorku ve zkušebním stroji.

Za ohyb zde považujeme již první ohyb o 90° z počáteční polohy, za druhý další ohyb o 180° atd..



2, KROUCENÍM - drát upneme do speciálního zařízení a otáčením kliky provádíme kroucení drátu dokud nedojde k přetržení drátu. Poté provedeme vyhodnocení zkrouceného drátu.

Ze začátku probíhá kroucení pomalu. když se drát přiblíží přetržení zrychlí se.

Zkroucení:

homogenní $d = 0.5 - 1$

$L = 200 d$

$d = 1 - 5$

$L = 100 d$

$d = 5$ a více

$L = 50 d$



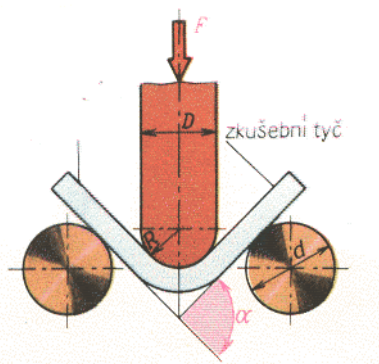
nehomogenní



Zkoušky ploch a tyčových materiálů

a. Zkouška lámavosti za studena (ohyb)

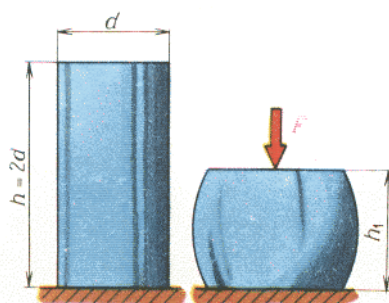
Posuzujeme tvárnost podle velikosti úhlu ohybu δ zkušební tyče, aniž v místě ohybu vznikly trhliny.



b. Zkouška pýchování za studena

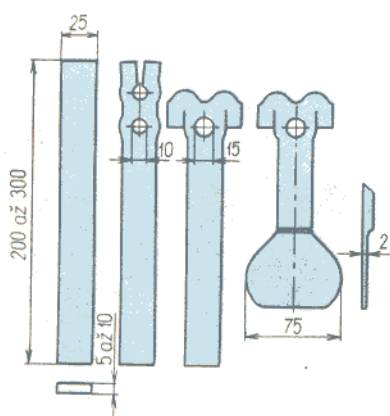
Zkouškou pýchování za studena se zjišťuje povrchová čistota polotovaru určeného k výrobě nýtů, hřebíků apod.

Materiál vyhovuje, jestliže při zkoušce na vzorku nevzniknou trhliny.



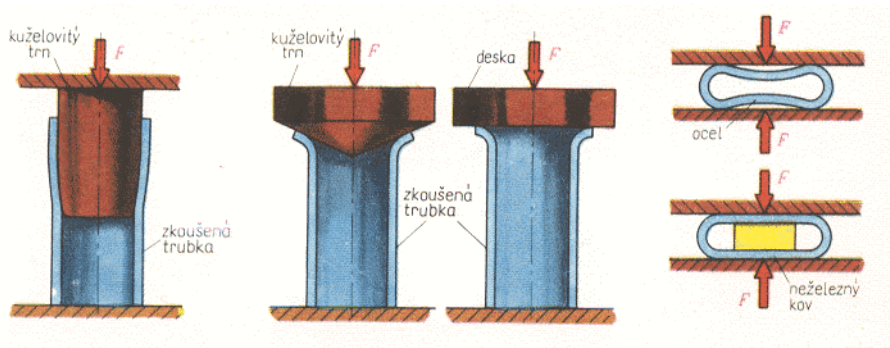
c. Zkoušky kovatelnosti

Touto zkouškou zjišťujeme kujnost oceli. Na předkované ocelové tyči provedeme zkoušku **děrováním**, **rozšiřováním**, **rozštěpením**, **rozkováním**. Úlohou těchto všech zkoušek je zjistit zpracovatelnost oceli za tepla. Rozsah kujnosti oceli je tím větší, čím větší jsou deformace bez vzniku trhlinek.



Zkoušky trubek

Zkouškami zjišťujeme zpracovatelnost trub, zvláště tažených za studena. Trubky vyhovují, nevzniknou - li při zkoušce ve zkoušeném místě praskliny. Máme tři metody zkoušení trubek. Je to buď rozháněním, lemováním nebo zmáčknutím



Zkoušky druhu materiálu

Při zkoušce druhu materiálu, které říkáme jiskrová zkouška zkoumáme tvary jisker které vznikají broušením zkoušeného materiálu.

Základní tvar jisker je tvar: chomáče, kyje, kapky, kopí oštěpu

Z množstvím uhlíku přibývá chomáčů a mění se barva.

Barva:

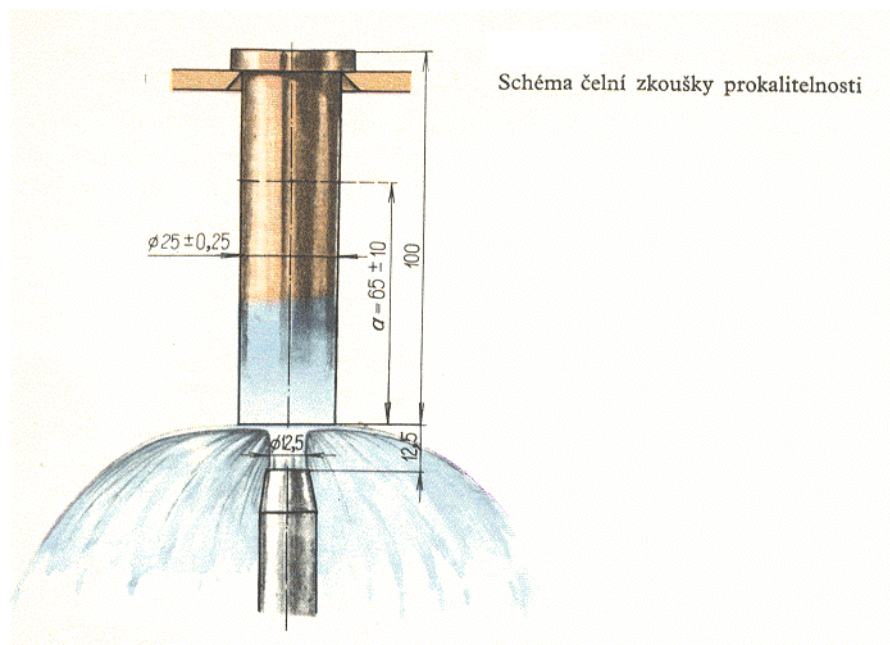
Světle žlutá - měkká ocel

Slámově žlutá - středně tvrdá ocel

Bílá - tvrdá ocel

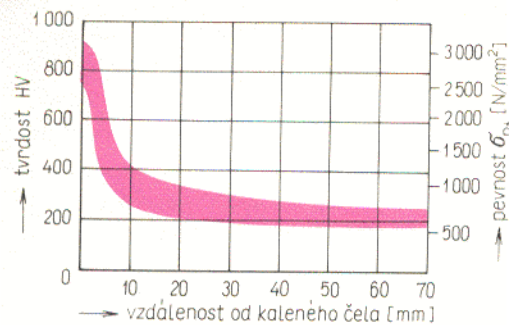
Zkouška prokalitelnosti

Jominy



Při této zkoušce se čelo standardního válcového zkušební vzorku, který se v peci ohřeje na kalící teplotu, ochlazuje ve zvláštním přípravku proudem vody. Rychlost ochlazování je největší na kaleném čele a se vzrůstající vzdáleností od čela se plynule zmenšuje. Po zakalení se na vzorku vybrousí podélně ploška v hloubce 0,4 mm, na níž se zjišťuje tvrdost podle Vickerse v postupně se zvětšujících vzdálenostech od kaleného čela.

Zjištěné hodnoty tvrdosti v jednotlivých bodech vyneseme do diagramu a jejich spojením dostaneme tzv. **křivku prokalitelnosti**. Vzhledem k povolenému rozmezí chemického složení u dané oceli podle materiálového listu (např. obsah C může kolísat v rozmezí 0,1%) bude určitá ocel prokalitelná v určitém rozmezí, v tzv. **pásu prokalitelnosti**. U ocelí se zaručenou prokalitelností musí křivka prokalitelnosti každé tavby ležet uvnitř pásu prokalitelnosti dané oceli.



ZKOUŠKY NEDESTRUKTIVNÍ

Vady materiálů

Nejčastější vady vyskytující se u jednotlivých druhů materiálů:

- ▶ Výkovky – osově dutiny a trhliny, vměstky
- ▶ Plech – zdvojení, trhliny
- ▶ Válcovaný nebo tažený tyčový materiál – trhliny, dutiny, vměstky, povrchové trhliny a převalky.
- ▶ Trubky bezešvé a válcované - zdvojení, podélné a příčné trhliny
- ▶ Odlitky – dutiny, staženiny, pórovitost, vměstky, trhliny
- ▶ Svary – vměstky, póry, studené spoje, neprovařená místa v kořenech, vruby na okraji svarů, trhliny
- ▶ Součástky v provozu – únavové trhliny

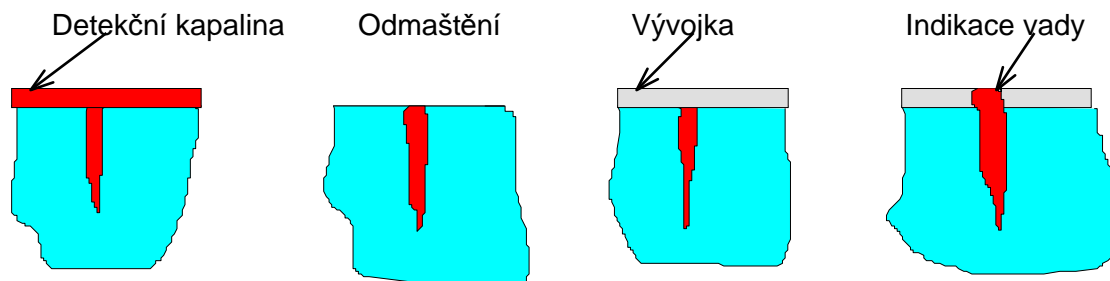
1) Zjišťování vad na povrchu materiálu

2) Zjišťování skrytých (neviditelných) vnitřních vad materiálu

Kapilární zkouška - používáme ji převážně u materiálů nemagnetických. Zkoušený předmět natřeme nebo ponoříme na určitou dobu do indikační tekutiny (petrolej, fluorescenční kapalina aj.). Potom jej opláchneme, osušíme a posypeme detekční látkou (např. plavenou křídou). Má-li zkoumaný předmět trhliny, vystupuje po nějaké době vlivem vztlakovosti tekutina z trhlín k povrchu a na vrstvě plavené křídly vznikne zvláště výrazný obraz trhlín. Tam, kde chceme ostré vykreslení vady, pozorujeme předmět ve tmě nebo pod ultrafialovým světlem (musí se použít fluorescenční látka).

1.) Metoda barevné indikace

- a. - PENETRACE - nanesení detekční tekutiny (obarvený petrolej, anilínové barvy)
- b. - ODMAŠTĚNÍ - otěrem a opláchnutím
- c. - NANESENÍ VÝVOJKY - plavená křída (oxid hořečnatý)
- d. - VZLÍNÁNÍ - detekční tekutiny do vývojky - indikace trhlín



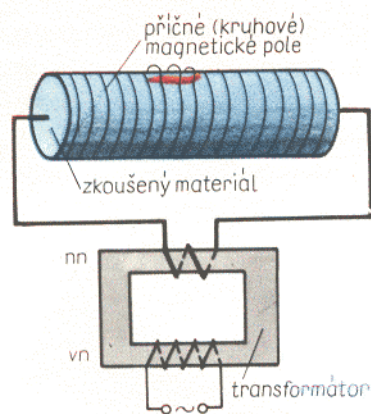
2.) Metoda fluorescenční

Vanová linka:

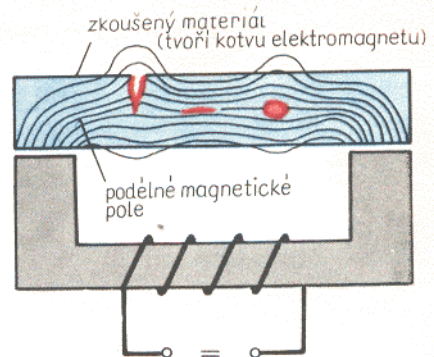
1. - Petrolej s parafínovým olejem a fluorescenční látkou
2. - Odmaštění v trichlorethylenu
3. - Vývojka - uhlíctan hořečnatý
4. - Ofouknutí
5. - Fluorescence po ozáření ultrafialovým světlem

Elektromagnetická zkouška

Inkar se používá ke zjišťování trhlin na povrchu nebo těsně pod povrchem součástek z feromagnetických materiálů magnetickou polévací nebo práškovou metodou. Při zkoušce využíváme poznatku, že magnetické siločáry se odchyľují na místech s vyšším magnetickým odporem, než má základní materiál. Trhliny na povrchu materiálu nebo těsně pod povrchem způsobují zvýšení magnetického odporu a ztěžují průchod magnetických siločar, a proto magnetické siločáry obcházejí toto místo a přecházejí i nad povrchem součástky. Jestliže polijeme zmagnetizovanou součástku detekční tekutinou, která se obvykle skládá z řídkého oleje a jemného feromagnetického prášku, přichytává se prášek v místech zvýšeného magnetického odporu, ulehčuje průchod magnetických siločar a vytváří obraz trhliny.

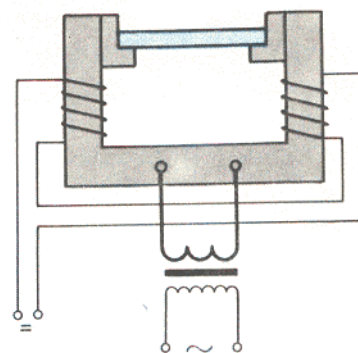


Princip zjišťování podélných vad



Princip zjišťování příčných vad

Princip elektromagnetického defektoskopu pro magnetizaci podélnou i kruhovou

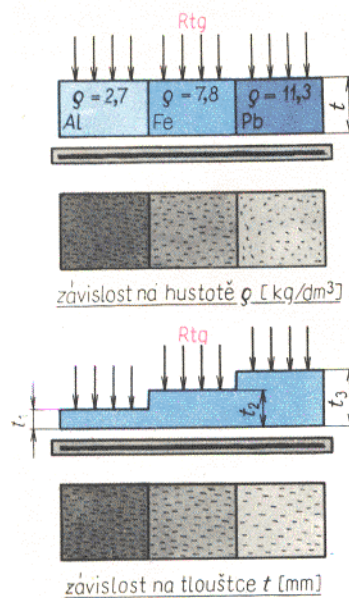


Zkouška elektroinduktivní

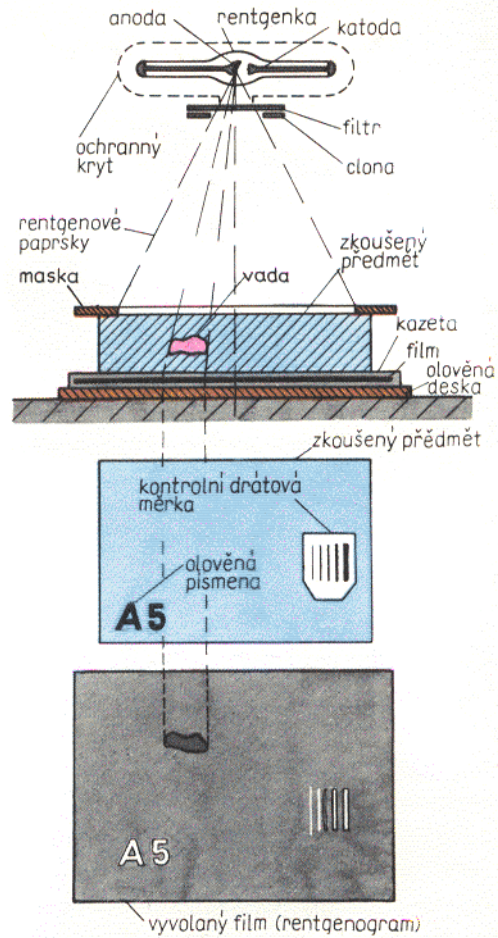
Zkouška je založena na sledování elektrické vodivosti. Změny se zjišťují porovnáním se vzorkem o známé vodivosti (etalon). Metoda se uplatňuje nejen při zjišťování vad materiálů, ale také při stanovení změn v chemickém složení.

Rengenoskopické zkoušky - Zkouška prozařováním rentgenovým zářením a gama zářením je založena na schopnosti krátkovlnného záření pronikat materiálem, na jeho zeslabení absorpcí v materiálu a na jeho působení na citlivou vrstvu fotografického filmu. Jeli v předmětu vnitřní vada, je v tomto místě skutečná tloušťka kovu menší o rozměr vady ve směru záření. Vada se projeví na vyvolaném snímku (**rentgenogram, gamagram**) jako tmavá vrstva na světlejším pozadí.

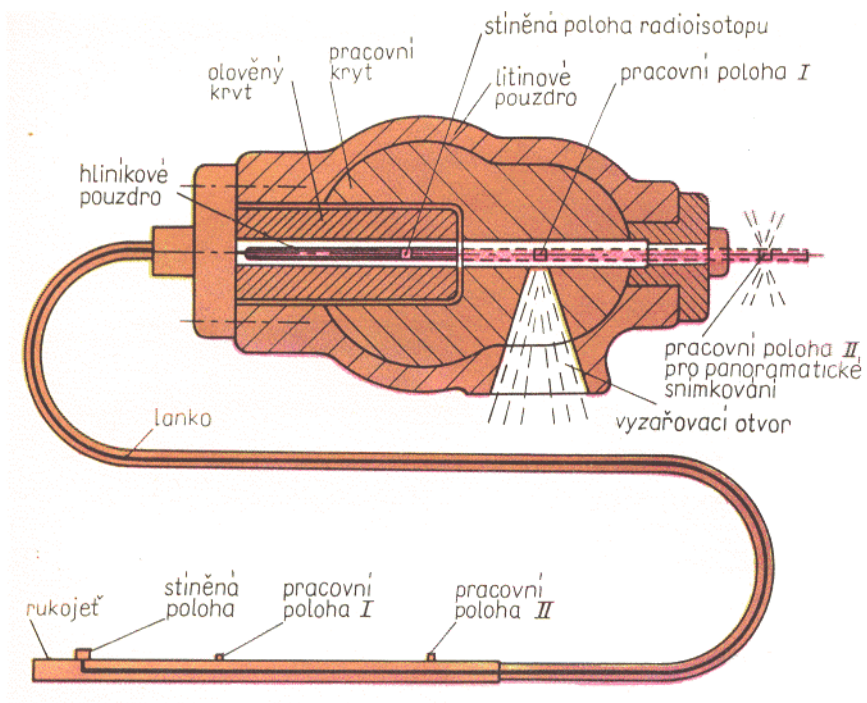
Při zkoušce rentgenovým zářením používáme **rentgenové přístroje**, nyní se však používají i **betatrony**. Při zkoušce gama zářením používáme **radioaktivních zdrojů přirozených** (radia, radonu) nebo **umělých** (radioaktivní kobalt Co 60, tantal Ta 182 apod.).



obr.: závislost prozáření na hustotě materiálu a na tloušťce materiálu, vada materiálu



obr.: princip zkoušky rentgenovými paprsky



obr.: gamazářič

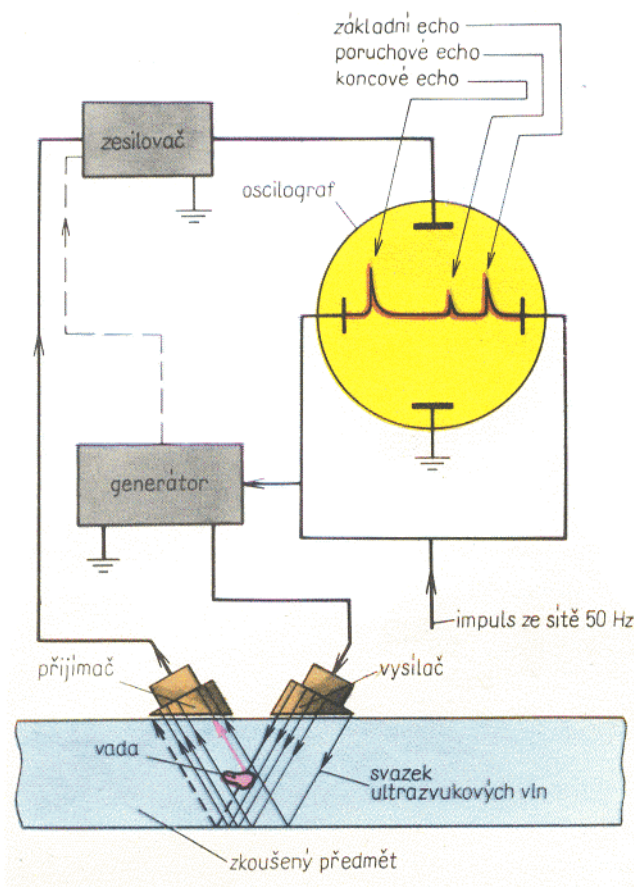
Zkouška ultrazvukem –

Ultrazvuk je akustické vlnění, jehož kmitočet je nad pásmem slyšitelnosti lidského ucha, tj. nad 20 kHz.

Při zkouškách ultrazvukem používáme impulsní defektoskopy (princip radaru). Mají buď jednu sondu (pracuje střídavě jako vysílač i přijímač), nebo dvě sondy (sonda vysílací a sonda přijímací). Nejrozšířenější je **metoda odrazová**, při které se krátkodobý ultrazvukový impuls vysílá do zkoušeného materiálu. V něm se odráží od protilehlé stěny nebo od možné vady a na téže straně, na níž je vysíláno, se opět přijímá. Působením řídicího impulsu se rozkmitá oscilační obvod generátoru (vysokofrekvenční oscilátor s frekvencí pd 0,5 do 5 MHz). Jeho kmity se přenesou na křemíkový krystal umístěný ve vysílači, který vyšle do zkoušeného materiálu svazek ultrazvukových vln. Část budícího impulsu se při tom zavede přes zesilovač do oscilografu, na jehož stínítku se objeví výkmit – **základní echo**. Svazek ultrazvukových vln prostupuje materiálem, narazí na protější stěnu, tam se odrazí a vrátí se zpět do přijímače, kde rozkmitá jeho krystal. Vzniklé elektrické kmity se vedou přes zesilovač do oscilografu, na jehož stínítku se objeví **koncové echo**. Je-li v materiálu vada (trhlina, dutina apod.), odrazí se od ní část ultrazvukových vln. Ty dospějí do přijímače dříve a na stínítku oscilografu se projeví jako **poruchové echo**.

Rozlišujeme tyto způsoby zkoušení:

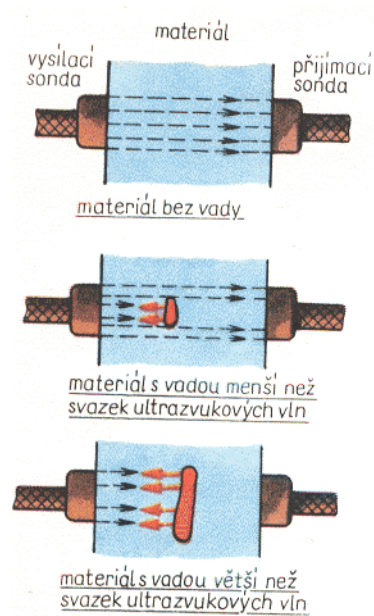
1. zkoušení metodou průchodovou
2. zkoušení metodou odrazovou



obr.: impulsní metoda odrazová

- 1 - počáteční echo
- 2 - koncové echo
- 3 - poruchové echo

Další je metoda průchodová. Ultrazvukové vlny se vysílají do zkoušeného předmětu na jedné straně a přijímají se na straně protilehlé. Je-li v materiálu vada, na její ploše se odrážejí ultrazvukové vlny, takže za vadou vzniká **ultrazvukový stín**. Této metody se používá např. ke zjišťování zdvojení plechů.



obr.: průchodová metoda

- a - plná výchylka indikátoru, materiál je bez poruchy
- b - částečná výchylka, vada menšího rozsahu
- c - nulová výchylka indikátoru, velká vada

Zkoušení ultrazvukem je vhodné pro materiály velké tloušťky a tehdy, kdy jiné způsoby zkoušení nedávají uspokojivé výsledky. Výhodou zkoušení ultrazvukem je malý rozměr přístroje a jeho snadná přenosnost, zkoušky jsou zdravotně nezávadné.