

ZKOUŠKY MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ MATERIÁLŮ

Mechanické zkoušky statické a dynamické

Úvod

Vlastnost materiálu – kvalitativní nebo kvantitativní charakteristika materiálních objektů (výrobků).

Vlastnosti materiálu, lze rozdělit na:

- fyzikální a fyzikálně-chemické (**mechanické**, optické, elektrochemické, chemické, magnetické, apod.),
- technologické (obrobitelnost, tvařitelnost, svařitelnost, slévateľnost, kalitelnost, apod.).

Mechanické vlastnosti vyjadřují schopnost materiálu odolávat mechanickému namáhání a

Mechanické vlastnosti kovů

Aby bylo možné správně navrhnout části strojů, konstrukcí, výrobků, je třeba znát soubor vlastností materiálů. Tyto vlastnosti vyjadřující (kvantitativně) jak se bude materiál chovat za působení vnějších sil se nazývají:

Mechanické vlastnosti

Charakterizují chování materiálu – pevnost, tvrdost, nárazovou práci, modul pružnosti, ..

Zkoušky mechanických vlastností

Mechanické zkoušky:

- **Destruktivní** (při zkoušce dojde k poškození nebo zničení zkušebního vzorku)

Zatížení	Krátkodobé	Dlouhodobé
Statické	zkouška tahem zkouška tlakem zkouška ohybem zkouška krutem zkouška stříhem zkoušky tvrdosti	zkoušky tečení (creep)
Dynamické	zkouška rázem v ohybu zkoušky nízkocyklové únavy	zkoušky vysokocyklové únavy

- **Nedestruktivní** (nedochází k poškození vzorku)

Zkoušky mechanických vlastností

Mechanické zkoušky statické:

- Zkouška tahem
- Zkoušky tvrdosti



Zkouška tahem - princip

Zkouška spočívá v deformaci zkušební tyče jednoosým tahovým zatížením obvykle do přetržení. Obvykle se zkouší při okolní teplotě v rozmezí od 10°C do 35°C, pokud není stanoveno jinak; v arbitrážních případech při teplotách $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$. Rychlost zatěžování se pohybuje od 0,5 do 2,0 mm.min⁻¹.

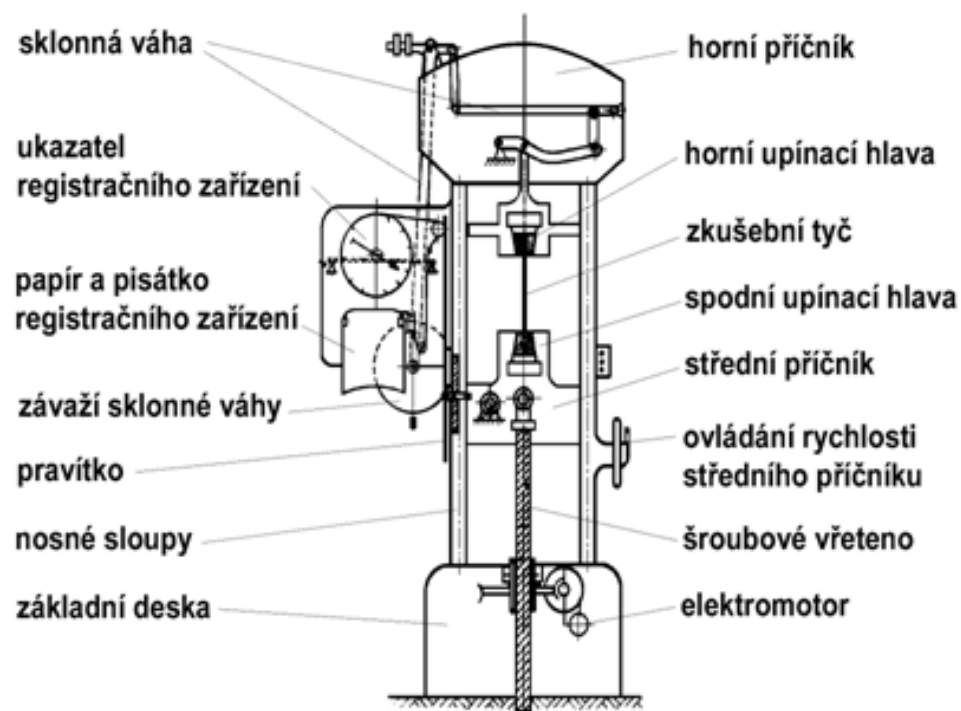
Zkoušky kovových materiálů tahem se v ČR řídí normou ČSN EN 10002 - 1 Kovové materiály – Zkoušení tahem – Část 1: Zkušební metoda za okolní teploty

Zkušební stroj

Zkušební stroje (mechanický zk. stroj se sklonnou vahou viz. obr.):

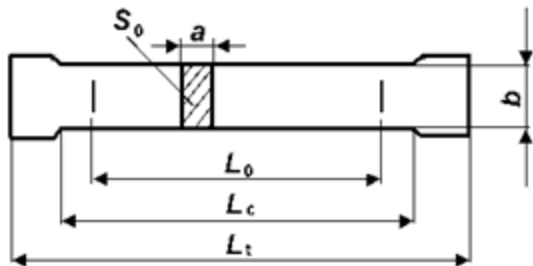
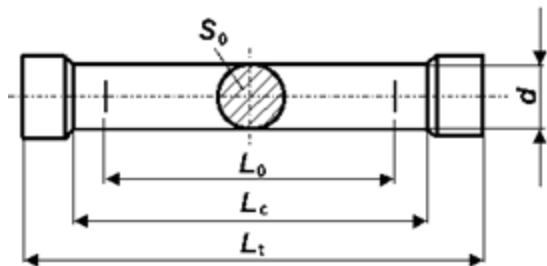
Pohon zkušebních strojů může být mechanický nebo hydraulický. V současné době - elektronické zkušební stroje řízené počítačem.

Úpravou uchycení zk. těle je možné na zkušebním s provádět i zkoušky tlakem, ohybem, krutem, stříhem.



Zkušební vzorky

Zkušební tyč je zhotovena obráběním vzorku odebraného z výrobku. Vzorky jako profily, dráty, tyče mohou být použity bez obrobení.



Válcové a ploché zk. tyče.
 S_0 – počáteční průřez tyče

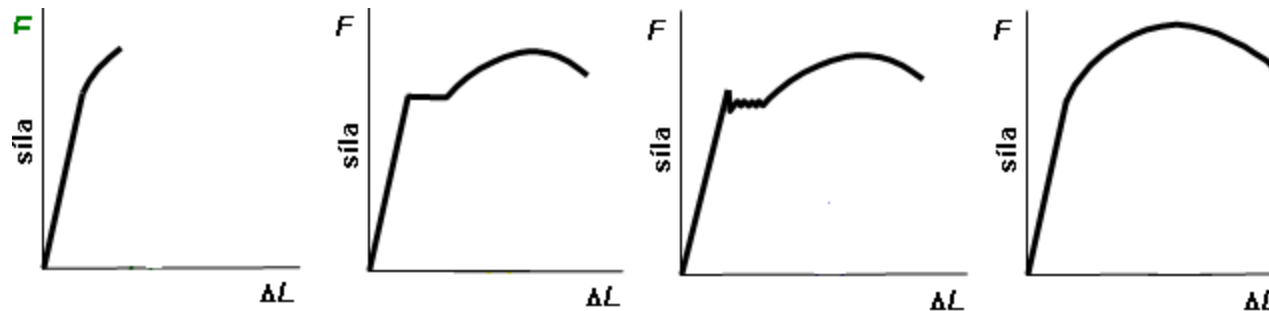
(mm^2)

L_0 – počáteční měřená

$$S_0 = \pi \frac{d^2}{4} \quad ; \quad S_0 = a \cdot b$$

Průběh zkoušky

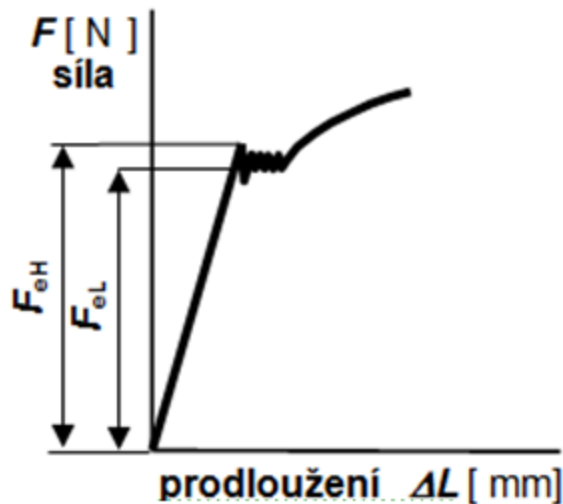
Zkušební tyč je upnuta do čelistí trhacího stroje tak, aby zatížení působilo v ose zkušební tyče. Zkušební tyč je zatěžována silou F , jejíž velikost je registrována v závislosti na prodloužení ΔL zkušební tyče. **Zkouška tahem končí porušením zkušební tyče.**



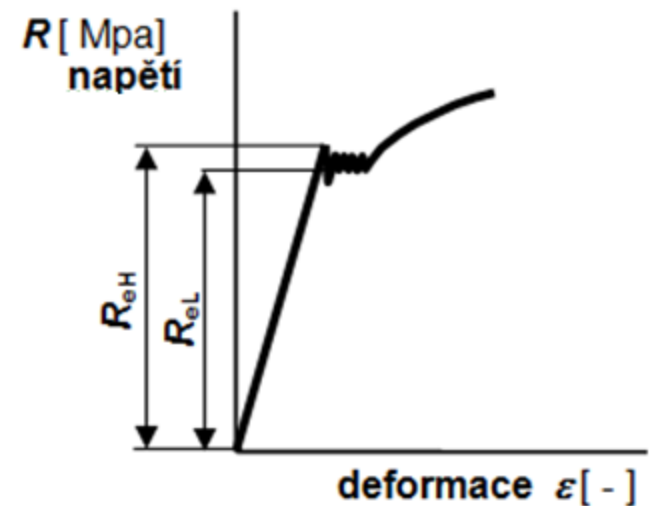
Materiál: a) křehký b) s mezí kluzu c) s horní a dolní mezí kluzu d) se smluvní mezí kluzu

Tahový diagram

Tahové diagramy po přepočtu síla-napětí,
prodloužení-deformace



Po přepočtu



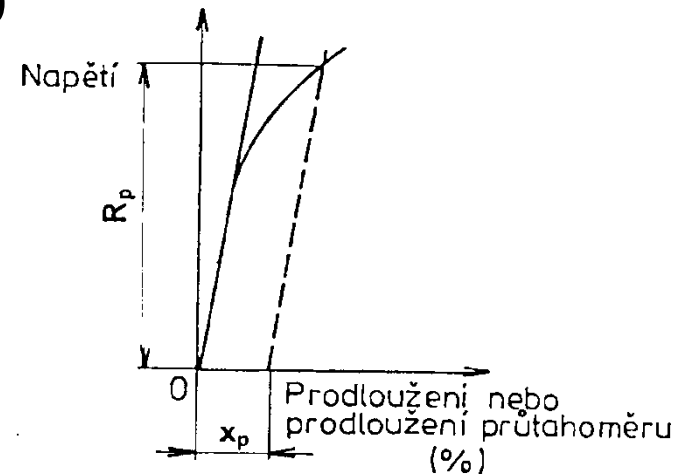
Tahový diagram

Pevnost v tahu R_m [MPa] $R_m = \frac{F'_m}{S_0}$

Horní mez kluzu R_{eH} [MPa] $R_{eH} = \frac{F'_H}{S_0}$

Dolní mez kluzu R_{eL} [MPa] $R_{eL} = \frac{F'_L}{S_0}$

Smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa] $R_{p0,2} = \frac{F'_{0,2}}{S_0}$



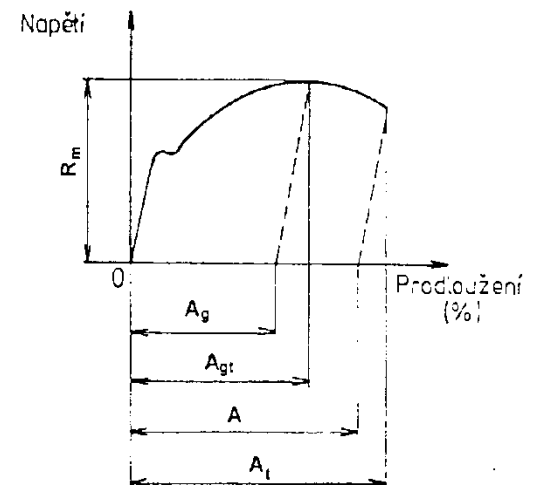
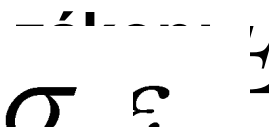
A, Z, Modul pružnosti v tahu

Tažnost A [%] $A = \frac{L_u}{L_0} \cdot 100$

Kontrakce Z [%] $Z = \frac{S_0}{S_u} \cdot 100$

Modul pružnosti odráží tuhost vazeb mezi atomy a charakterizuje odolnost materiálu proti elastické deformaci.

Hookeův zákon



Zkoušky tvrdosti

Tvrdot lze definovat jako mechanickou vlastnost vyjadřující odpor materiálu proti vnikání geometricky definovaného tělesa (indentoru).

Označuje se **H** z angl. hardness – tvrdost.

Tvrdot materiálu je ovlivněna:

- stavbou materiálu např. typem krystalové mřížky a množstvím mřížkových poruch,
- mikrostrukturou materiálu (příměsí),
- vnitřní napětí v materiálu (pnutí po tváření),
- teplotou.

Zkoušky tvrdosti - rozdělení

Podle principu zkoušky:

- vtiskové metody - spočívají ve vtlačování definovaného tělesa do zkoušeného materiálu. Měří se velikost vytvořeného vtisku; nejpoužívanější metody – Brinell, Vickers, Rockwell, Poldi – kladívko.
- Vrypové metody (Martens)

Podle působící síly: statické nebo dynamické

Podle účelu měření:

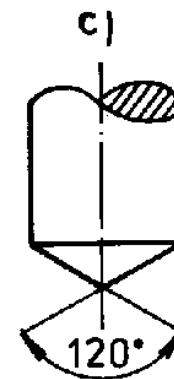
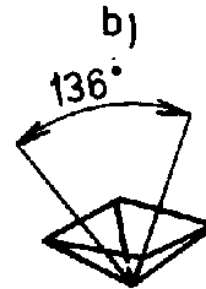
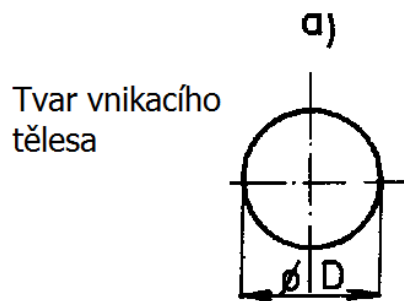
- zkoušky makrotvrdosti – zatěžovací síla je vyšší než 10 N.
- zkoušky mikrotvrdosti – k určení strukturních složek materiálu, povrchových vrstev, zatěžovací síla je od 2 do 10 N.

Zkoušky tvrdosti - rozdělení

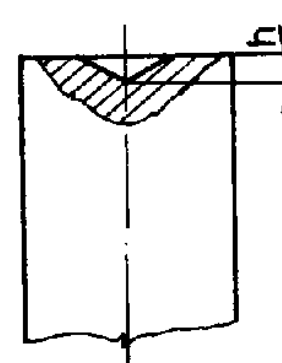
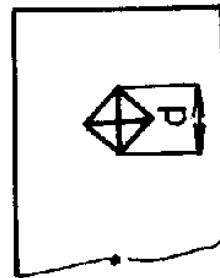
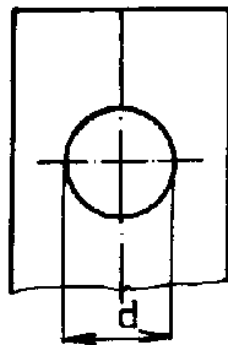
a) Brinell

b) Vickers

c) Rockwell



Charakteristický
rozměr
vtisku



Zkouška tvrdosti podle Brinella

Autorem této metody je švédský inženýr J. A. Brinell. Metoda byla poprvé představena v roce 1900.

Princip metody spočívá v zatlačování indentoru – kalené ocelové kuličky (**HBS**) nebo kuličky z tvrdokovu (metoda

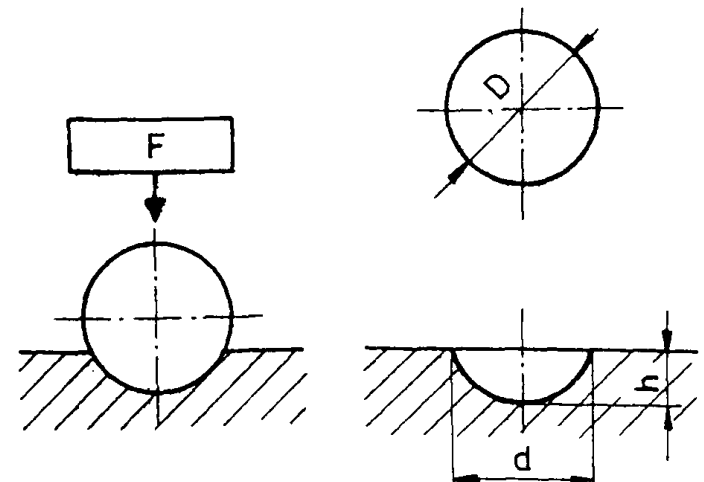
$$HBS (HBW) = 0,102 \cdot \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

F ... zkušební zatížení v [N]

D ... průměr kuličky v [mm]

d ... aritmetický průměr vtisku v [mm]; $d = \frac{d_1 + d_2}{2}$

- $R_m = k \cdot HB$
- (ocel $k = 3,1$ až $4,1$)



Postup zkoušky

Zkouška se provádí na hladkém povrchu bez okují, mazadel apod. Zkoušené těleso musí mít povrch připraven tak, aby dovolil přesné měření průměru vtisku. Tloušťka zkoušeného tělesa musí být nejméně osminásobek předpokládané hloubky vtisku a na protilehlé straně nesmí být po zkoušce patrné stopy deformace.

- Přednostně se používá kulička o průměru 10 mm.
- Zkoušené těleso je uloženo na tuhé podložce a při zkoušce se nesmí pohnout.
- Vnikací těleso se zatlačuje do zkoušeného tělesa zkušebním zatížením F směřujícím kolmo k jeho povrchu. Doba od počátku zatěžování do jeho plné hodnoty musí být v rozmezí 2 : 8 s (celková doba

Tvrdost podle Brinella

- Průměr vtisku se měří ve dvou na sebe kolmých směrech d_1 a d_2 . Pro stanovení tvrdosti podle Brinella se použije aritmetický průměr d obou změřených hodnot.
- Hodnotu tvrdosti podle Brinella určíme z tabulek v normě podle použitého indentoru, velikosti zatížení F a průměru d vtisku.

Př. označení tvrdosti podle podle Brinella:

350 HBS 5/20

Význam: naměřena tvrdost 350 jednotek Brinella, zatěžovací tělísko ocelová kulička, průměr 5mm, zatížení 20kg.

Zkouška tvrdosti podle Vickerse

Zkouška byla vyvinuta v Anglii R. L. Smithem a G. E. Sandlandem v roce 1922.

Vickersova zkouška je založena na stejném principu jako zkouška Brinellova, liší se vnikacím tělískem.

U Vickerse je použit diamantový čtyřboký jehlan s vrcholovým úhlem 136° , který je do zkušebního tělesa vtlačován definovaným zatížením působícím v kolmém směru po stanovenou dobu. Po odlehčení se změří úhlopříčky vtisku.

Zkouška tvrdosti podle Vickerse

Tvrdość podle Vickerse je vyjádřena jako poměr zkušební zátížení k ploše povrchu vtisku.

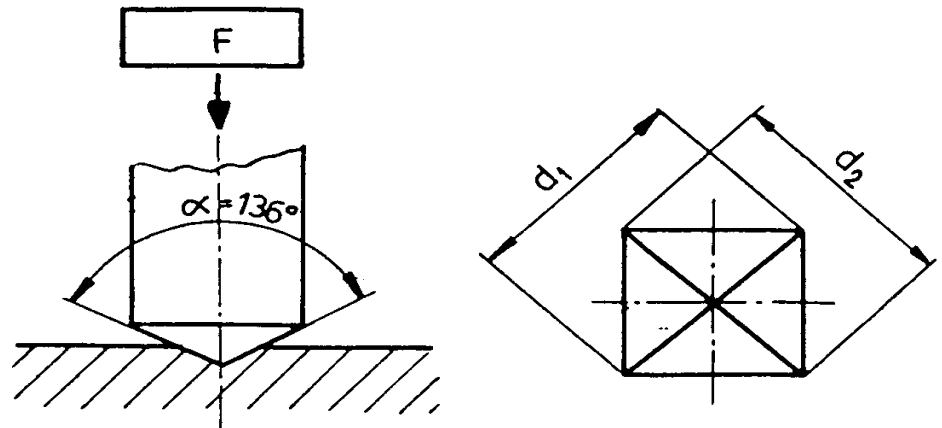
$$HV = 0,102 \cdot \frac{2 \cdot F \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 0,1891 \cdot \frac{F}{d^2}$$

HV... tvrdost podle Vickerse

F... zkušební zátížení v [N]

α ... vrcholový úhel vnikacího tělesa (jehlanu); $\alpha = 136^\circ$

d... úhlopříčka vtisku v [mm]; $d = \frac{d_1 + d_2}{2}$



Postup zkoušky

Platí podobné zásady jako u brinella – povrch musí být hladký a rovný, bez okujené vrstvy, cizích tělísek a bez mazadel.

- Při zkoušce musí být použito některé z předepsaných zkušebních zatížení ***F***.
- Zkušební těleso musí být uloženo na tuhé podložce a při zkoušce se nesmí hnout.
- Vnikací těleso je zatlačováno do zkoušeného tělesa zkušebním zatížením směřujícím kolmo k jeho povrchu. Doba od počátku zatěžování do jeho plné hodnoty nesmí překročit 10 s.

Tvrдость podle Vickerse

- Hodnotu tvrdosti podle Vickerse určíme z tabulek v normě podle použitého zatížení a aritmetického průměru d úhlopříček vtisku.

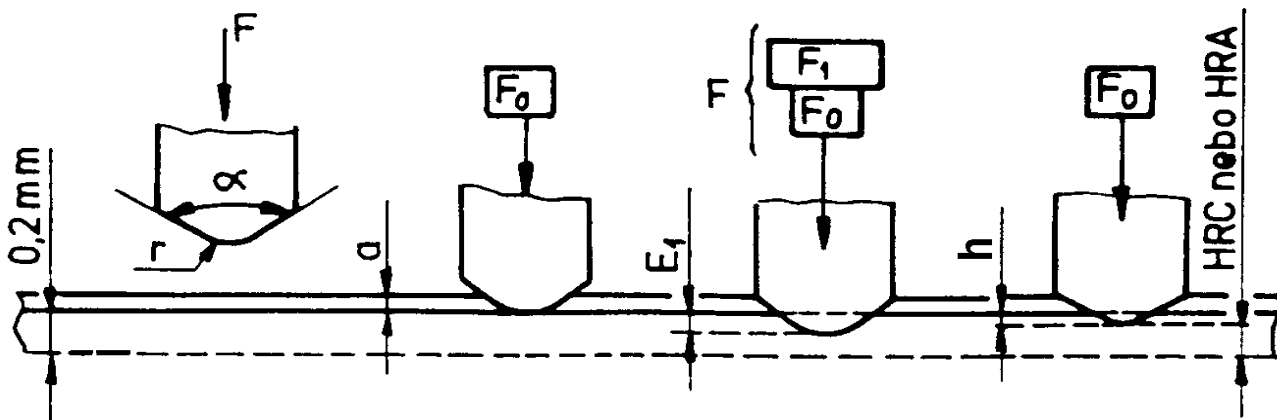
Př. označení tvrdosti podle Vickerse:

450 HV 10

Význam: naměřena tvrdost 450 jednotek Vickerse, zatížení 10kg.

Zkouška tvrdosti podle Rockwella

Autorem zkoušky je S. P. Rockwell a poprvé byla použita v roce 1922. Na rozdíl od metod měření tvrdosti podle Brinella a Vickerse se tvrdost podle Rockwella vyjadřuje pomocí rozdílu hloubky vtisku před předběžným a po celkovém zatížením.



Postup zkoušky

Zkouška spočívá ve vtlačování indentoru (diamantový kužel nebo ocelová kulička) do povrchu zkoušeného tělesa. Požadovaný vtisk vznikne zatížením indentoru předběžným a přidavným zatížením. Měří se trvalá hloubka vtisku h po odstranění přidavného zatížení. Z hodnoty h se určí tvrdost podle Rockwella.

Stupnice tvrdosti	Symbol tvrdosti	Indentor (průměr [mm])	F_0 [N]	F_1 [N]	F [N]	Rozsah měření
A	HRA	diamantový kužel	98,07	490,3	588,4	20 – 88
B	HRB	ocelová kulička (1,5875)	98,07	882,6	980,7	20 – 100
C	HRC	diamantový kužel	98,07	1373	1471	20 – 70
D	HRD	diamantový kužel	98,07	882,6	980,7	40 – 77

Tvrдость podle Rockwella

Pro úpravu povrchu vzorku platí stejné zásady jako u předchozích zkoušek. Tloušťka zkoušeného tělesa nebo vrstvy při zkoušce musí být nejméně desetkrát větší než trvalá hloubka vtisku h pro kuželová vnikací tělesa a nejméně pětkrát větší pro vnikací tělesa s kuličkou.

- Hodnota tvrdosti podle Rockwella se odečítá přímo na ukazateli tvrdoměru.

Př. označení tvrdosti podle Rockwella:

55 HRC

Význam: naměřena tvrdost 55 jednotek Rockwella na stupnici C.

POLDI kladívko

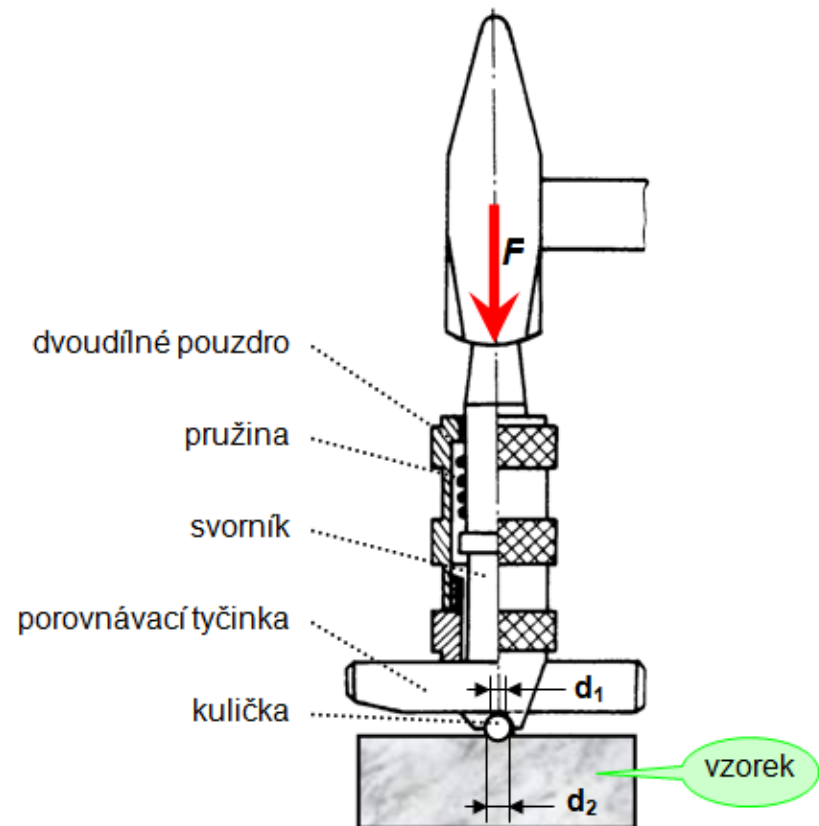
- Kladívko Poldi se skládá z pouzdra v němž je uložena tyčinka známé tvrdosti (etalon). Tyčinka je svorníkem a pružinou přitlačovaná ke kuličce o průměru 10 mm.
- Při zkoušce se tvrdoměr přiloží ke zkoušenému materiálu tak, aby kulička dosedla na zkoušené místo a osa tvrdoměru byla kolmá k povrchu zkoušeného předmětu.
- Na horní část tvrdoměru se udeří ručním kladivem, ráz se přenesse na kuličku a ta vytvoří vtisky ve zkoušeném předmětu i v etalonu. Porovnáním průměrů vtisku se z tabulek určí tvrdost.

POLDI kladívko

Př. označení tvrdosti podle POLDI kladívko:

400 HB Poldi

Význam: naměřena tvrdosť
450 jednotek, metodou
HB Poldi



Zkoušky mechanických vlastností

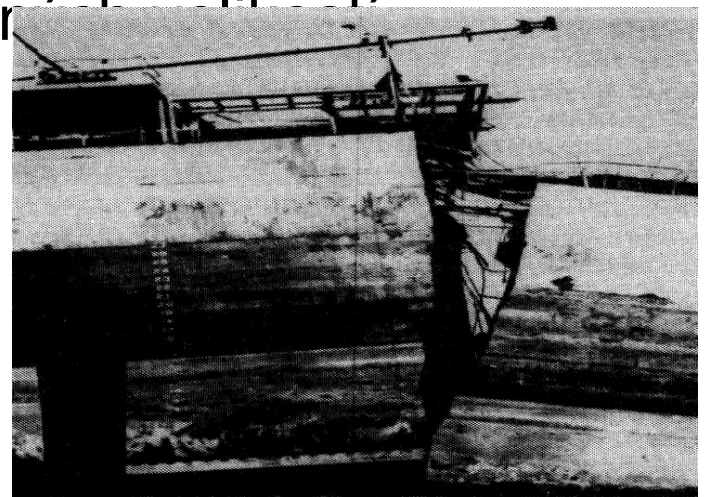
Mechanické zkoušky dynamické:

- Zkouška rázem v ohybu podle Charpyho



Z historie

- Zprávy o katastrofálních lomech potrubí, nádrží a jiných zařízení jsou známé už od 19. století.
- Před druhou světovou válkou, když se ocelové konstrukce začaly svářet, došlo v Evropě k několika katastrofálním porušením mostů.
- Od listopadu 1942 do dubna 1946 se na 976 svařovaných námořních plavidlech USA objevilo 1442 vážných poškození trhlinami různými směry.
- Do konce roku 1949 došlo k havárii 11 lodí typu Liberty.



Hodnocení houževnatosti materiálu

Strojní součásti jsou ve většině případů zatěžovány **dynamicky** (síly se mění skokově nebo cyklicky).

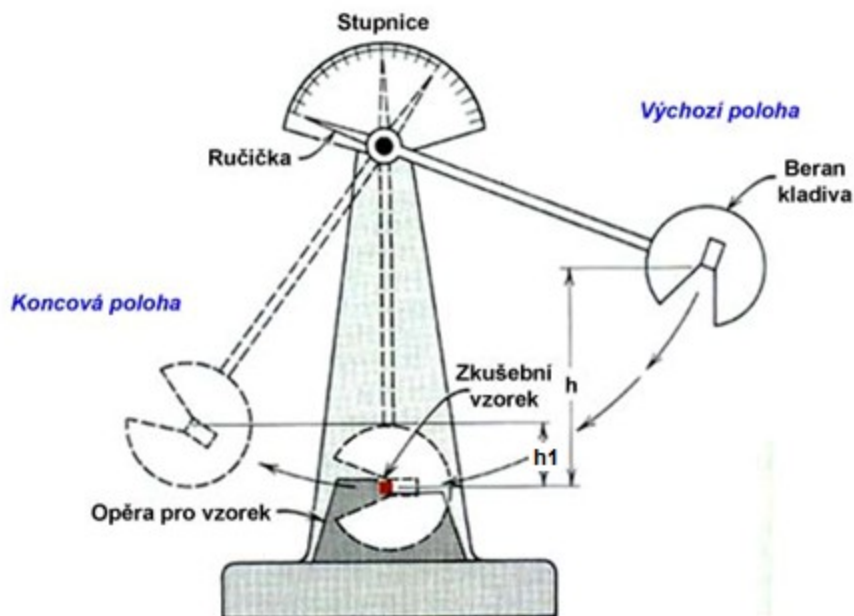
U součástí namáhaných dynamicky – dochází k porušení soudržnosti při hodnotách nižších než jsou hodnoty statické pevnosti.

Dynamické zk. rázové v tahu, tlaku, ohybu a kroucení.

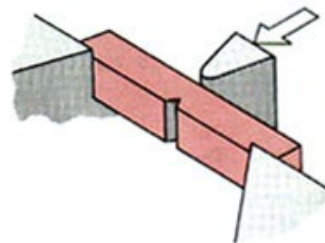
V současné době je nejpoužívanější srovnávací zkouška pro **hodnocení houževnatosti** materiálů - **zkouška rázem v ohybu podle Charpyho**.

Zk. rázem v ohybu podle Charpyho

- Metodika zkoušky a tvar zkušebních těles jsou uvedeny v ČSN EN 10 045 – 1
- Zkušebním zařízením je kyvadlové kladivo
 - vyrábí se kladiva 150 J, 300 J nebo 450 J

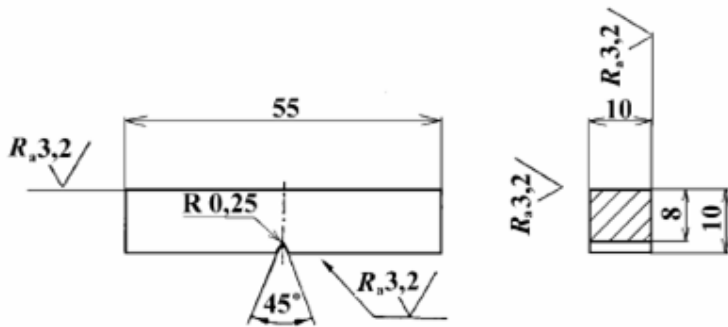


$$\begin{array}{l} \text{Nárazová práce} = \text{Potenciální energie kladiva počáteční} - \text{Potenciální energie kladiva koncová} \\ \mathbf{K = m.g.h - m.g.h_1} \end{array}$$

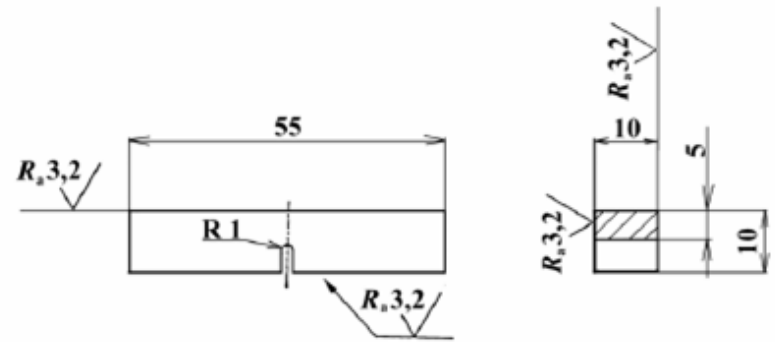


Zkušební vzorky

Zkušební tyč má rozměry 10 x 10 x 55 mm a je opatřena vrubem ve tvaru V nebo U.



Zk. vzorek s V-vrubem
vrubem



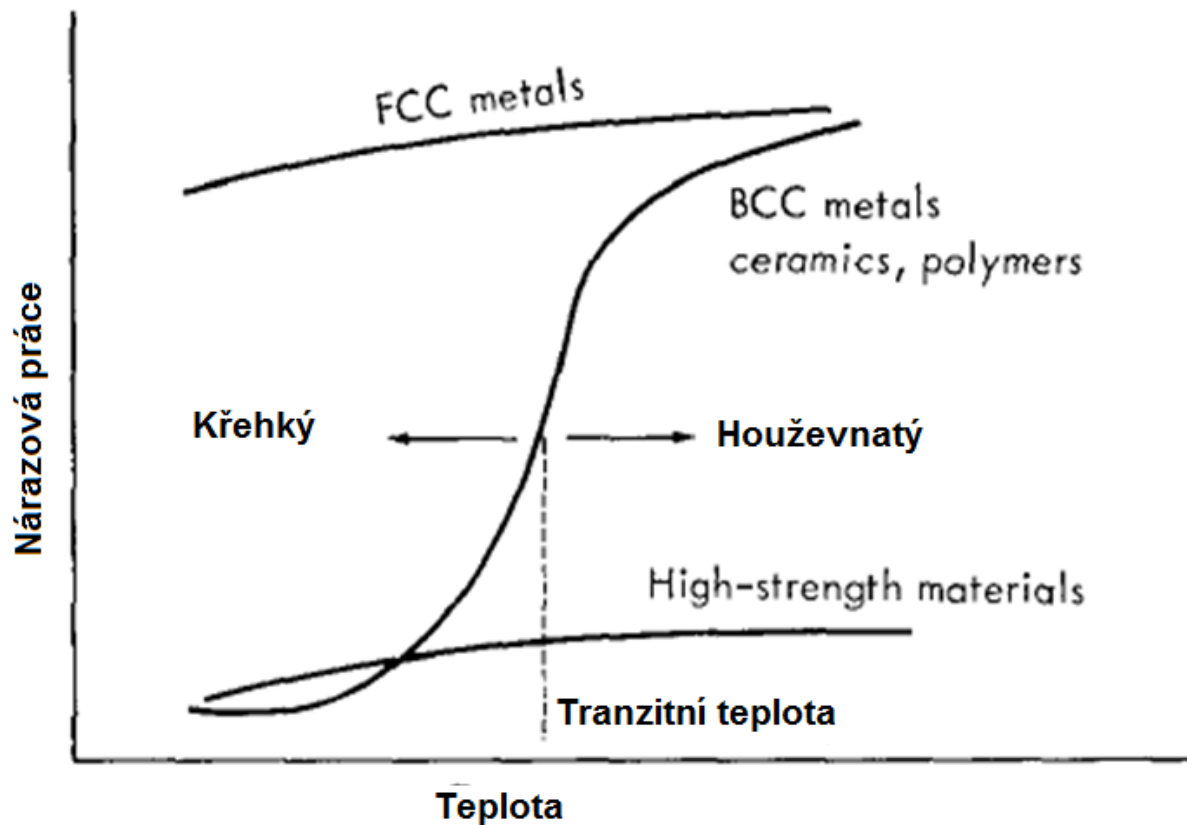
Zk. vzorek s U-

Vrubová houževnatost (ČR):

$$KCV = \frac{KV}{S_0} \quad [J \cdot cm^{-1}]$$

$$KCU = \frac{KU}{S_0} \quad [J \cdot cm^{-1}]$$

Teplotní závislost nárazové práce



Tranzitní lomové chování

Kovové materiály s mřížkou FCC:

- o typu lomu nerozhoduje teplota (u čistých kovů předchází plastická deformace - lom je houževnatý).

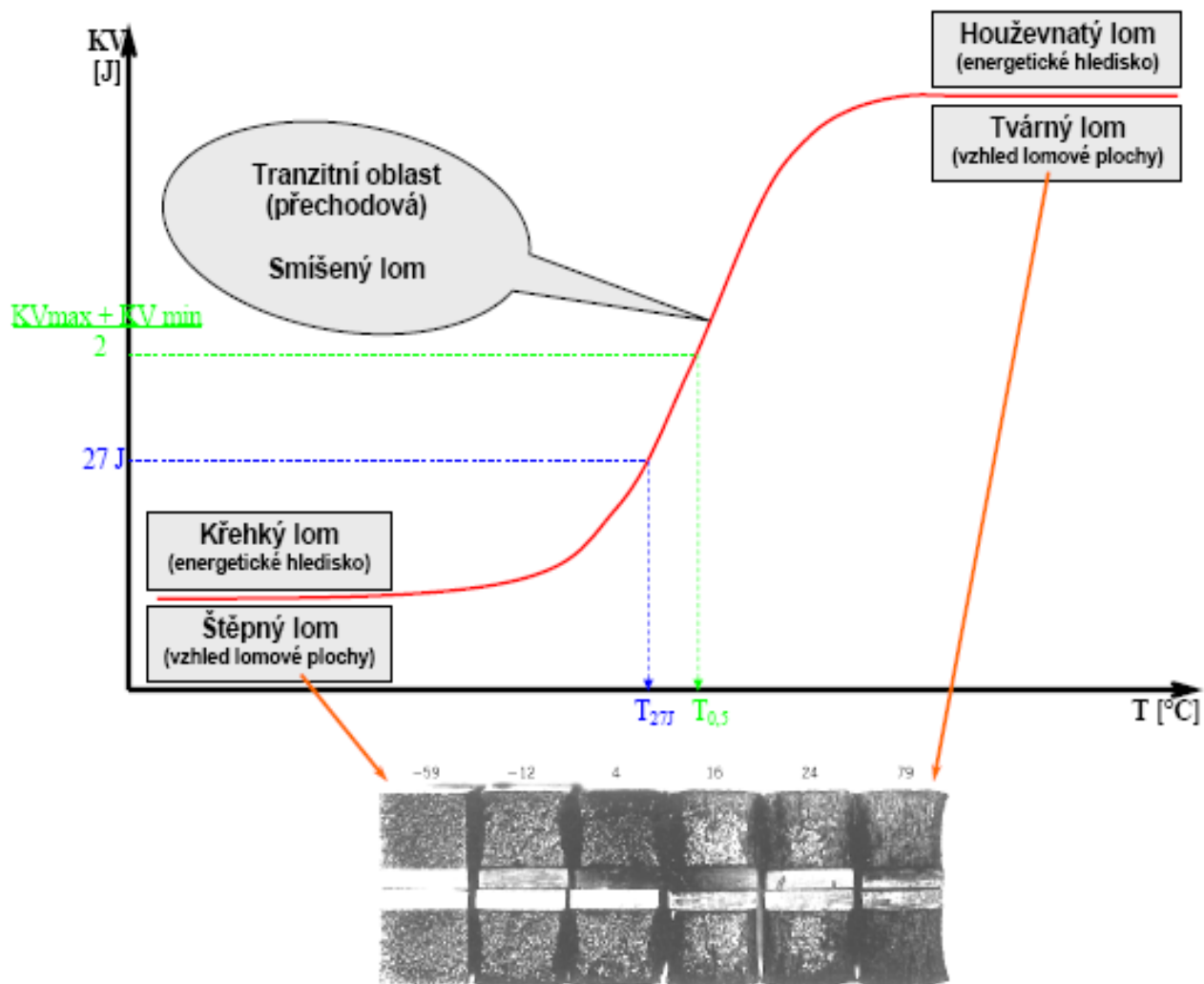
Kovové materiály s mřížkou HCP:

- o typu lomu rozhoduje teplota, za normální teploty je lom zpravidla křehký.

Kovové materiály s mřížkou BCC:

- o typu lomu rozhoduje teplota, rychlost zatěžování.
- v závislosti na zatěžování se mění charakter lomu. Při vyšších teplotách je lom houževnatý, za nízkých teplot lom křehký. Změna charakteru lomu vlivem poklesu teploty se označuje pojmem **tranzitní lomové chování** a teplota tranzitu je tranzitní teplota.

Tranzitní lomové chování



Nárazová práce

- Hodnoty nárazové práce se nepoužívají přímo pro volbu materiálu nebo k výpočtu konstrukce. Slouží jako doplňkové informace o chování materiálu. K posouzení získaných hodnot KV se využívá zkušeností z praxe.
- V praxi se někdy zjišťuje hodnota T_{27J} jako hranice pro „křehko-lomové“ chování materiálu.

Závěr

Literatura:

- [1] Pokluda, J., Kroupa, F., Obdržálek, L.: *Mechanické vlastnosti a struktura pevných látek*. PC-DIR spol. s r.o., Brno, 1994, 385s.
- [2] Vondráček, F. *Materiály a technologie I a II*, 1985, 243+244s.
- [2] Ptáček a kol. *Nauka o materiálu I a II*. CERM, 2003, 520+396 s.
- [3] Hluchý, M., Kolouch, J. *Strojírenská technologie 1*. Scientia, 2007, 266 s.
- [4] *internet* <<http://ime.fme.vutbr.cz/vyukazs.html>>
- [5] *internet* < http://ime.fme.vutbr.cz/studijni_opory.html >