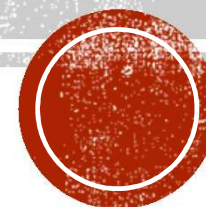


MECHANICKÉ ZKOUŠENÍ MATERIÁLU



Ing. Michal Lattner (lattner@fvtm.ujep.cz)

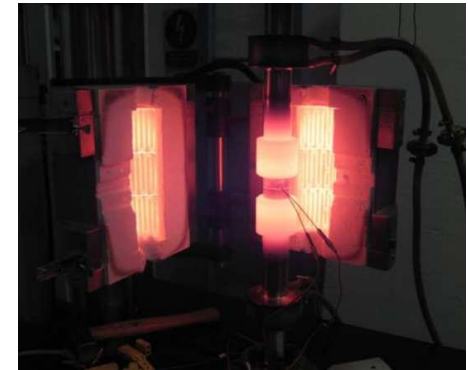
Fakulta výrobních technologií a managementu

Věda pro život, život pro vědu – CZ.1.07/2.3.00/45.0029



DRUHY MECHANICKÝCH ZKOUŠEK

- Statické zkoušky (pevnost, tvrdost)
- Dynamické zkoušky (cyklické, rázem)
- Zkoušky za vysokých teplot
- Zkoušky za nízkých teplot



Tlaková zkouška za vysokých teplot – ocel
DP 600,
DP – dual phase steel
Nízkouhlíková ocel,
Feritická matrice (70-90%) = dobrá
tvářitelnost
Martenzit (10-35%)
 $R_m = 200-600 \text{ MPa}$

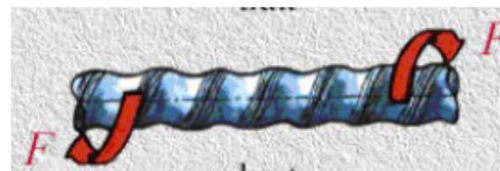
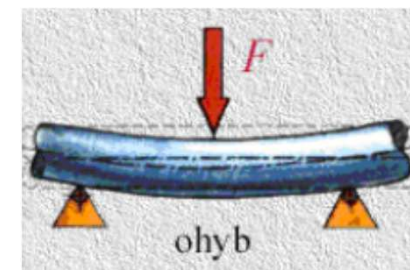
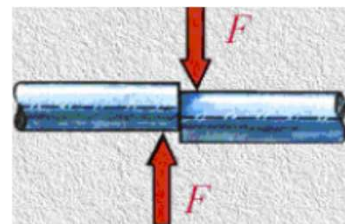
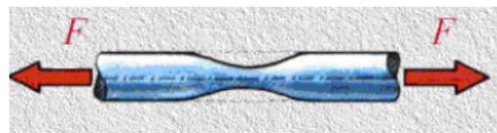


STATICKÉ ZKOUŠKY

- *Zkušební vzorek je zatěžován tzv. statickou silou, která se během průběhu zkoušky mění je zvolna*

Zkoušky pevnosti:

- Tahem
- Tlakem
- Krutem
- Střihem
- Ohybem



Zkoušky tvrdosti:

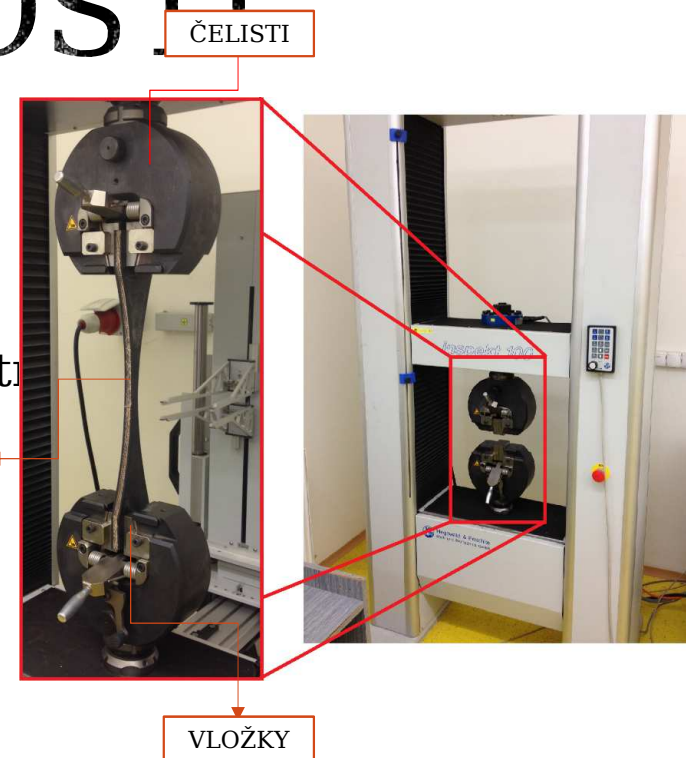
- Tvrdost dle Vickerse
- Tvrdost dle Rockwella
- Tvrdost dle Brinella
- A další (Knoop., Poldi a Shore)



STATICKÉ ZKOUŠKY - ZKOUŠKY PEVNOSTI

- Statická zkouška tahem - ČSN EN 10002
- Jedna nejrozšířenějších zkoušek
- Na fakultě Inspekt 100 kN
- Při tahové zkoušce získáváme několik parametrů

Parametr	Zkratka	Jednotka
Mez pevnosti	R_m	MPa
Mez kluzu	R_p	MPa
Max. síla	F_{max}	kN
Tažnost	A	%
Kontrakce	Z	%



STATICKÉ ZKOUŠKY - ZKOUŠKY PEVNOSTI

- Mez pevnosti:

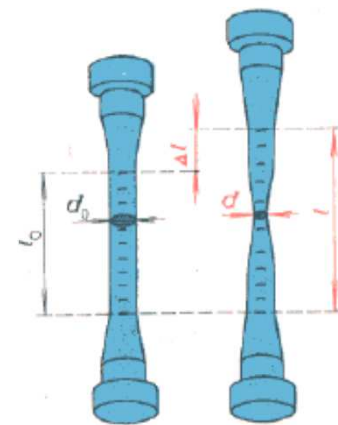
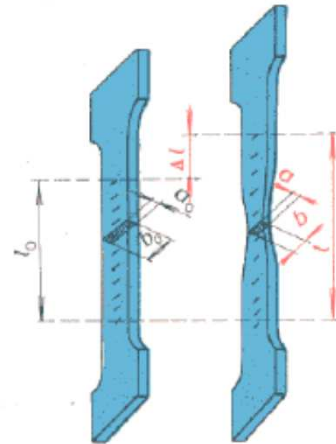
$$R_m = \frac{F_m}{S_0} \quad (\text{MPa}) = (\text{N/mm}^2)$$

- Tažnost:

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100 \quad (\%)$$

- Kontrakce:

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



L_0 [mm].....Počáteční měřená délka

L_u [mm].....Měřená délka po lomu zkušební tyče

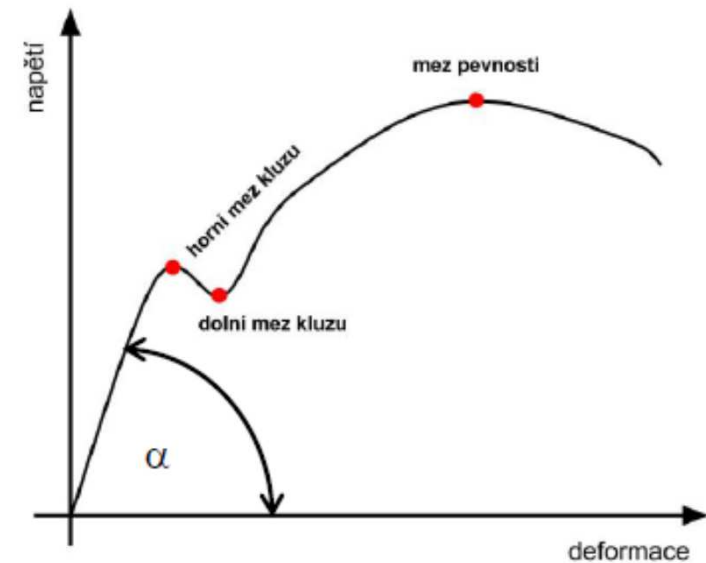
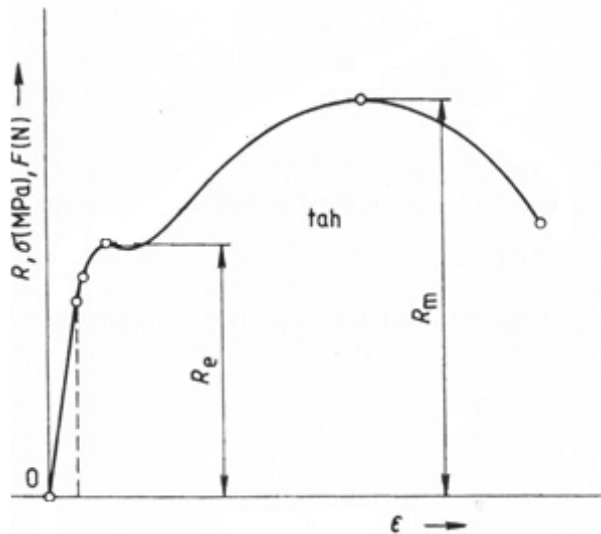
S_0 [mm²].....Počáteční plocha příčného průřezu zkoušené délky

S_u [mm²].....Nejmenší plocha příčného průřezu



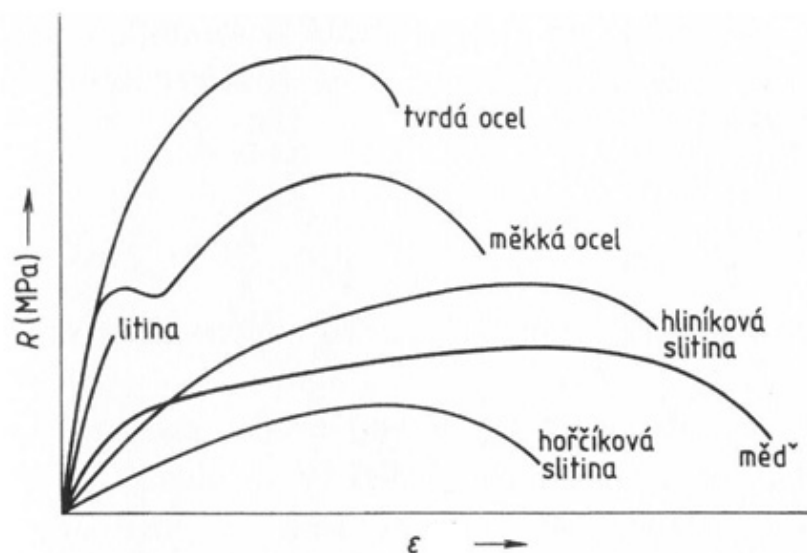
STATICKÉ ZKOUŠKY - ZKOUŠKY PEVNOSTI

- Tahový diagram - výsledek tahové zkoušky



STATICKÉ ZKOUŠKY - ZKOUŠKY PEVNOSTI

- Tahový diagram pro různé materiály



Ocel 15 131 ($R_m = 850\text{MPa}$), tyč $D=10\text{mm}$,
 $F = 66,7\text{ kN}$



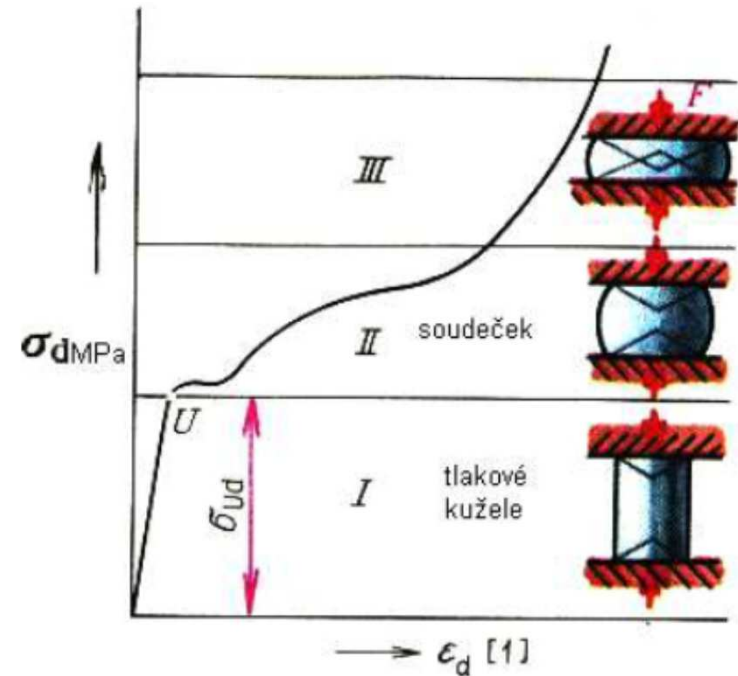
STATICKÉ ZKOUŠKY - ZKOUŠKY PEVNOSTI

- Ocelové lano
průměr 76 mm



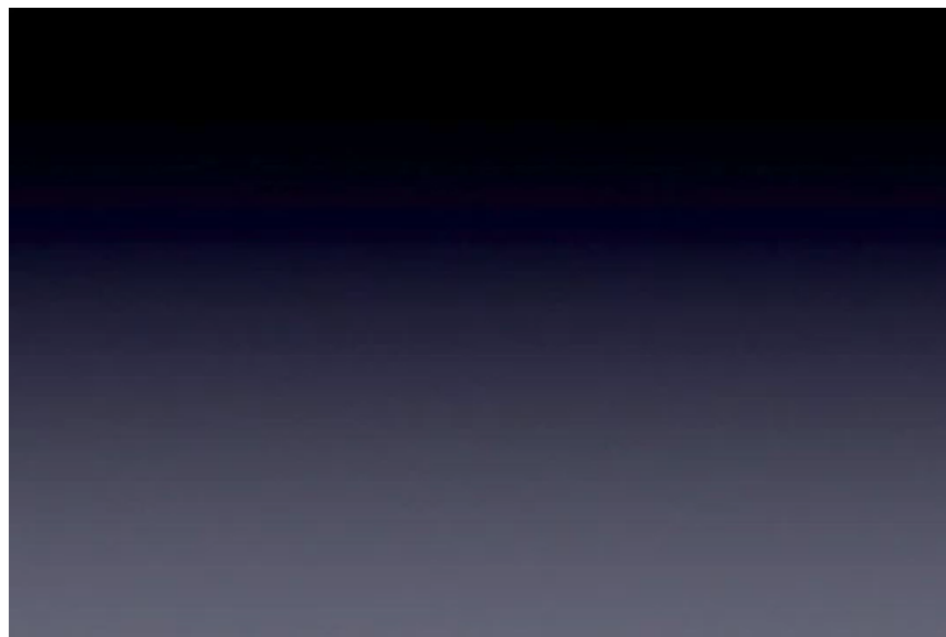
STATICKÉ ZKOUŠKY - ZKOUŠKY PEVNOSTI

- Zkouška tlakem
- Méně využívaná, většinou pro křehké materiály
- Použití v místech, kde je materiál zatížen tlakem: ložiskové kovy, stavební materiály..
- U houževnatých se používá výjimečně-> mez kluzu stejná jak při tahové zkoušce
- Zpočátku je diagram podobný diagramu tahové zkoušky



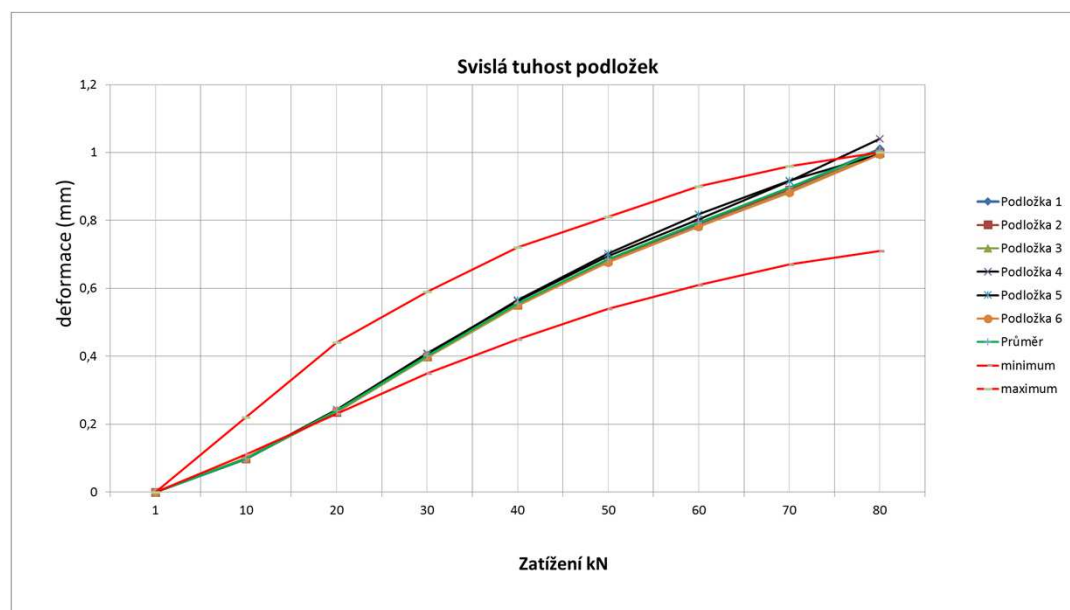
STATICKÉ ZKOUŠKY - ZKOUŠKY PEVNOSTI

- Tvar zkušebních těles:
- Z kovů (válečky) $d = 10-30 \text{ mm}$, $h = (2,5-3) \cdot d$
- Stavební materiál (krychle)



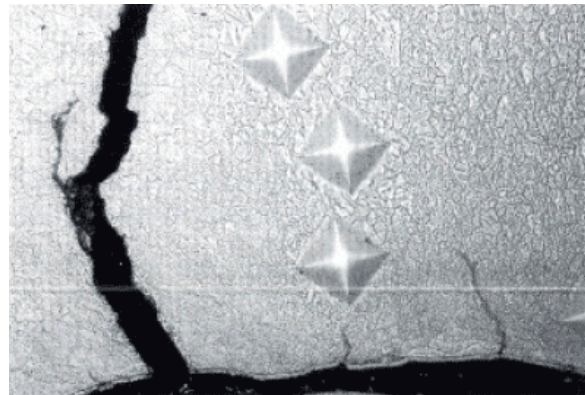
STATICKÉ ZKOUŠKY - ZKOUŠKY PEVNOSTI

- Podkladnice pod koleje



STATICKÉ ZKOUŠKY - ZKOUŠKY TVRDOSTI

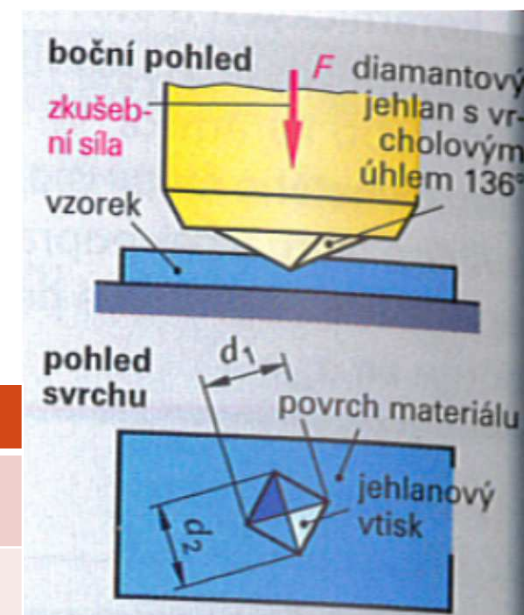
- Tvrdost dle Vickerse
- Tvrdost dle Rockwella
- Tvrdost dle Brinella
- A další (Knoop, Poldi a Shore)



STATICKÉ ZKOUŠKY - ZKOUŠKY TVRDOSTI

- Tvrdost dle Vickerse
- Diamantové vnikající tělísko (indentor – čtyřboký jehlan), vniká do materiálu a po odlehčení je měřena velikost vtisku
- Podle použitého zkušebního zatížení:

Zkušební zatížení F [N]	Symbol tvrdosti	Označení
$F \geq 49,03$	$\geq HV5$	Zkouška tvrdosti podle Vickerse
$1,961 \leq F < 49,03$	HV 0,2 až $< HV5$	Zkouška tvrdosti podle Vickerse při nízkém zatížení
$0,0981 \leq F < 1,961$	HV 0,01 až $< HV 0,2$	Zkouška mikrotvrdosti podle Vickerse



STATICKÉ ZKOUŠKY - ZKOUŠKY TVRDOSTI

- Výpočet: F [N].....zkušební zatížení
 d [mm]...aritmetický průměr dvou délek úhlopříček d_1, d_2

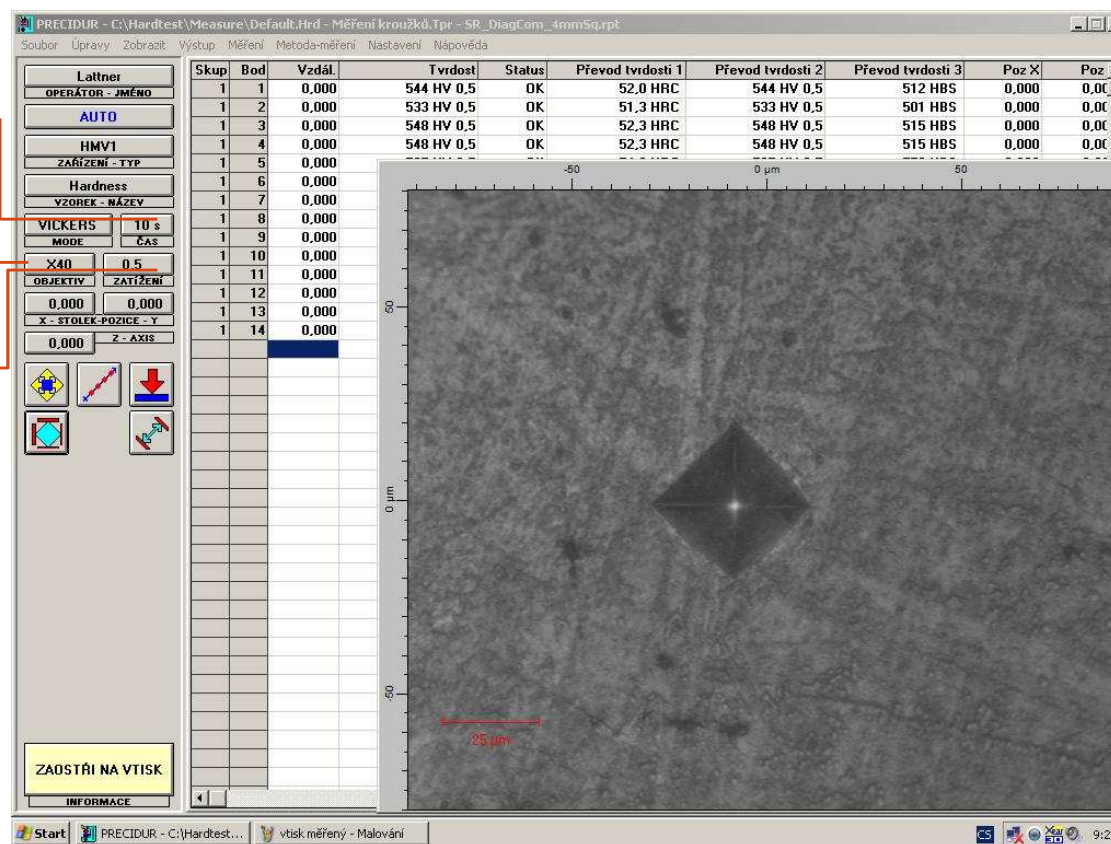
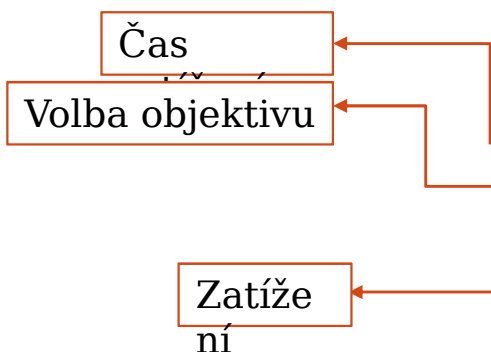
$$HV = 0,102 \times \frac{2F \sin \frac{136^\circ}{2}}{d^2} = 0,1891 \frac{F}{d^2}$$

0,102 –



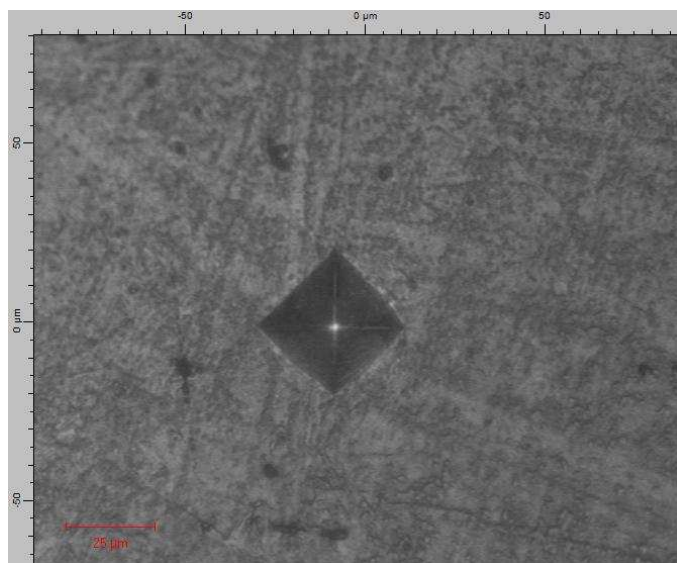
STATICKÉ ZKOUŠKY - ZKOUŠKY TVRDOSTI

- Testovací prostředí:



STATICKÉ ZKOUŠKY - ZKOUŠKY TVRDOSTI

- Testovací prostředí:



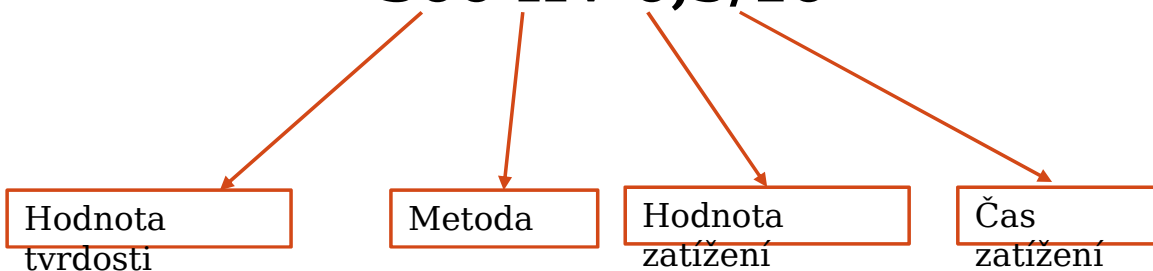
Změřené úhlopříčky



STATICKÉ ZKOUŠKY - ZKOUŠKY TVRDOSTI

▪ Zápis:

300 HV 0,5/10



STATICKÉ ZKOUŠKY - ZKOUŠKY TVRDOSTI

- Tvrdost dle Rockwella
- Povrch musí být rovný, čistý a bez mazadel
- Indentor: diamantový kužel nebo ocelová kulička



STATICKÉ ZKOUŠKY - ZKOUŠKY TVRDOSTI

Typy indentorů

Stupnice tvrdosti	Symbol tvrdosti	Vnikací těleso	Předzatížení Fo [N]	Celkové zatížení F [N]	Oblast použití
A	HRA	Diamantový kužel	98,07 (10 kg)	588,4 (60 kg)	20 až 88 HRA
B	HRB	Ocelová kulička 1,5875 mm (1/16")		980,7 (100 kg)	20 až 100 HRB
C	HRC	Diamantový kužel		1 471 (150 kg)	20 až 70 HRC
D	HRD	Diamantový kužel		980,7 (100 kg)	40 až 70 HRD
E	HRE	Ocelová kulička 3,175 mm (1/8")		980,7 (100 kg)	70 až 100 HRE
F	HRF	Ocelová kulička 1,5875 mm (1/16")		588,4 (60 kg)	60 až 100 HRF
G	HRG	Ocelová kulička 1,5875 mm (1/16")		1471 (150 kg)	30 až 94 HRG
H	HRH	Ocelová kulička 3,175 mm (1/8")		588,4 (60 kg)	80 až 100 HRH
K	HRK	Ocelová kulička 3,175 mm (1/8")		1471 (150 kg)	40 až 100 HRK
15 N	HR 15 N	Diamantový kužel	29,42 (3 kg)	147,1	70 až 94 HR 15 N
30 N	HR 30 N	Diamantový kužel		294,2	42 až 86 HR 30 N
45 N	HR 45 N	Diamantový kužel		441,3	20 až 77 HR 45 N
15 T	HR 15 T	Ocelová kulička 1,5875 mm (1/16")		147,1	67 až 93 HR 15 T
30 T	HR 30 T	Ocelová kulička 1,5875 mm (1/16")		294,2	29 až 82 HR 30 T
45 T	HR 45 T	Ocelová kulička 1,5875 mm (1/16")		441,3	1 až 72 HR 45 T



STATICKÉ ZKOUŠKY - ZKOUŠKY TVRDOSTI

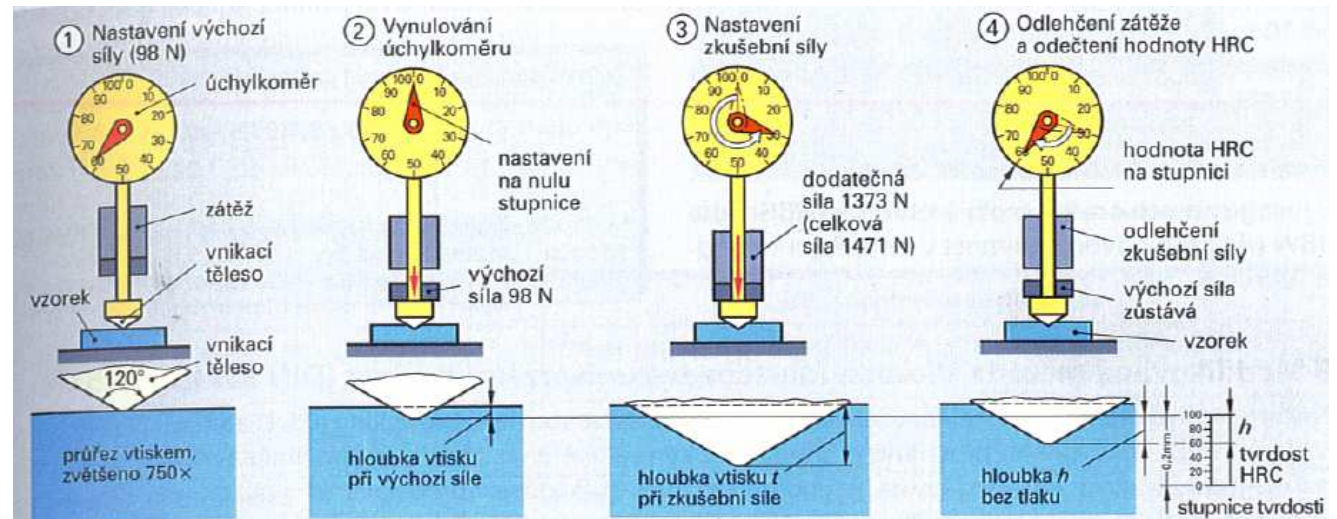
Princip:

- 1) Vnikací těleso se předzatíží silou 98 N a na této úrovni se vynuluje úchylkoměr
- 2) Potom se vtlačí vnikací těleso zkušební silou a po krátké chvíli se zvedne.
- 3) Nárůst hloubky vtisku h je odečten na úchylkoměru a převeden a hodnotu tvrdosti

Zápis: 300 HRC

Hodnota
tvrdosti

Rockwellova zkouška
C



STATICKÉ ZKOUŠKY - ZKOUŠKY TVRDOSTI

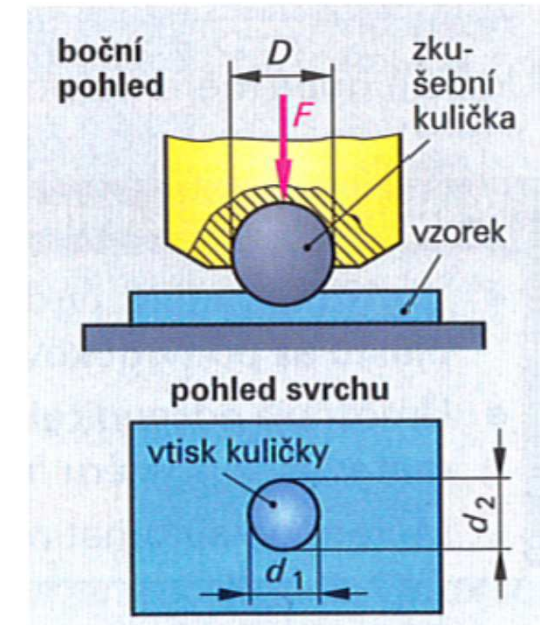
- Tvrdost dle Brinella
- Vtisk do rovné plochy zkoušeného materiálu
- Indentor: ocelová kulička nebo kulička z tvrdokovu s průměrem (1; 2,5; 5 nebo 10 mm)
- Měří se průměr vtisku nebo hloubka vtisku h
- Tvrdost se vypočítá z zkušební síly F a z plochy vtisku v mm^2

Výsledný vtisk



STATICKÉ ZKOUŠKY - ZKOUŠKY TVRDOSTI

- Plocha vtisku, tj. plocha kulového vrchlíku
- Výpočet tvrdosti: HB ———
- V praxi se hodnoty odečítají z tabulek a nebo je rovnou tvrdoměr vyhodnotí!
- Ocelová kulička použití: tvrdost do 450HB (HBS)
- Kulička z tvrdokovu použití nad 650 HB (HBW) kulička z SK



STATICKÉ ZKOUŠKY - ZKOUŠKY TVRDOSTI

▪ Zápis:

300 HBW 2,5/187,5/30

Hodnot
a
tvrdosti

Brinell,
materiál
kuličky

Průměr
kuličky
v *mm*

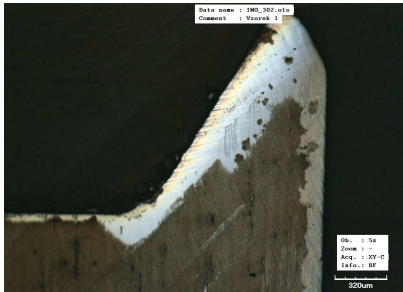
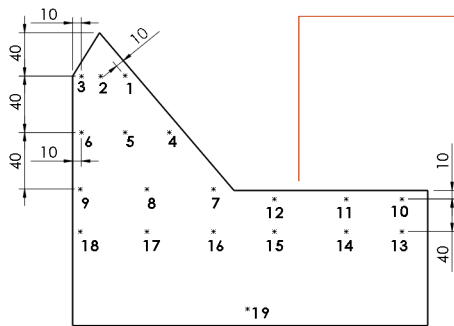
Síla v kp
187,5 .
9,81 = 1
839N

Doba
působen
í v s



STATICKÉ ZKOUŠKY - ZKOUŠKY TVRDOSTI

- Praktická ukázka – Tvrdost materiálu



	HV0,5	HRC
1	544,00	52,0
2	533,00	51,3
3	548,00	52,3
4	519,00	50,4
5	555,00	52,7
6	548,00	52,3
7	559,00	52,9
8	526,00	50,9
9	548,00	52,3
10	552,00	52,5
11	563,00	53,2
12	555,00	52,7
13	544,00	52,0
14	548,00	52,3
15	552,00	52,5
16	579,00	54,1
17	571,00	53,6
18	567,00	53,4
19	563,00	53,2
Průměr	551,26	52,45
Směr. Odch.	14,39	0,88



Závěr:

Chemická analýza – jiný materiál
 Měření tvrdosti – nedostatečně zakalené 58 HRC
 Konfokální mikroskop – oduhličená vrstva v okolí zubu





DYNAMICKÉ ZKOUŠKY

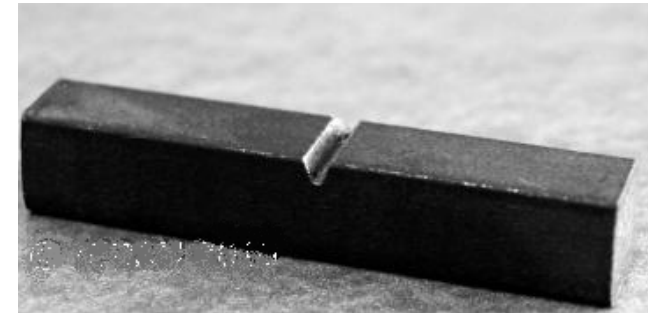
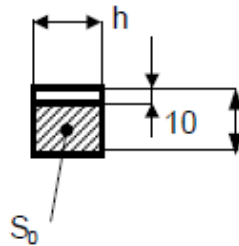
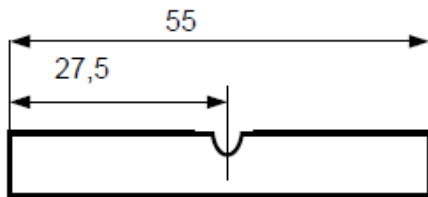
- *Zkušební vzorek je zatěžován tzv. dynamickou silou, která se během průběhu zkoušky mění nárazově během zlomku sekundy.*
- Zkouška rázová
- Zkouška únavová



DYNAMICKÉ ZKOUŠKY -

ZKOUŠKA RÁZOVÁ

- Rázové zkoušky nejsou mnoho využívány
- Užití hlavně pro materiály určené pro další tváření, kde se stanovuje deformační práce
- Nejpoužívanější je rázová zkouška ohybem, nebo jinak zkouška vrubové houževnatosti
- Používaný stroj: Charpyho kladivo



DYNAMICKÉ ZKOUŠKY -

ZKOUŠKA RÁZOVÁ

Výpočet :

Nárazová práce $A = m \cdot g \cdot r \cdot (\cos \beta - \cos \alpha) [J]$

m...hmotnost kladiva

r... délka ramene kladiva

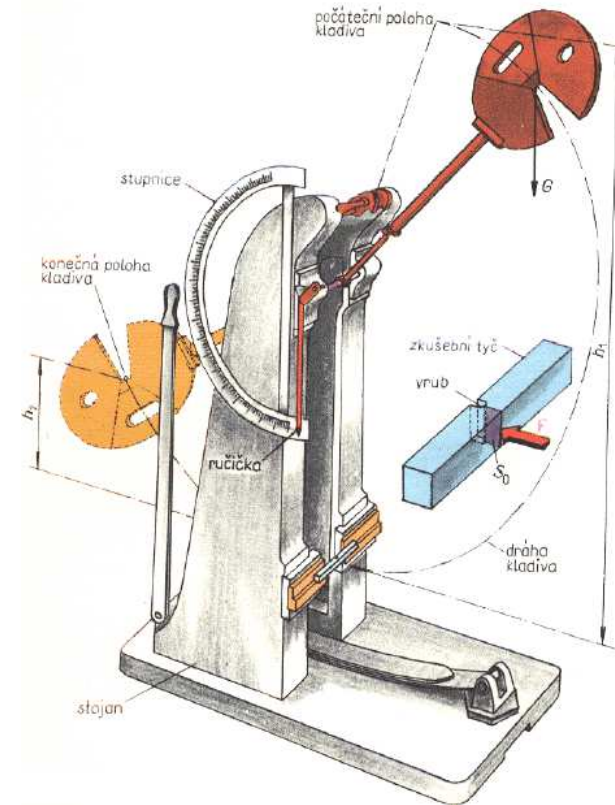
α ... výchozí úhel kladiva

β ... úhel překryvu kladiva po přeražení

Nízká houževnatost kovů = dobrá tvářitelnost

Vrubová houževnatost: $KC = \frac{A}{S_0} \left[\frac{J}{cm^2} \right]$

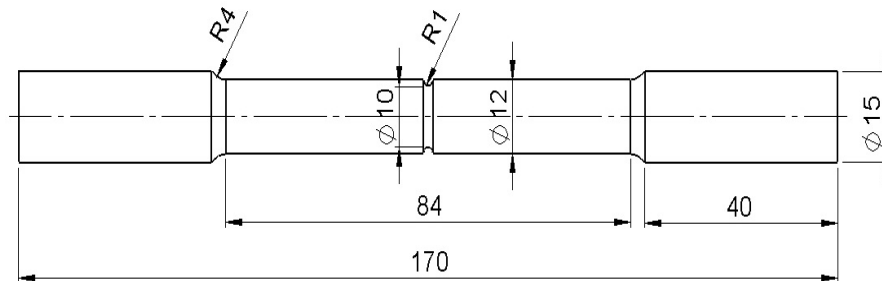
S₀...průřez



DYNAMICKÉ ZKOUŠKY -

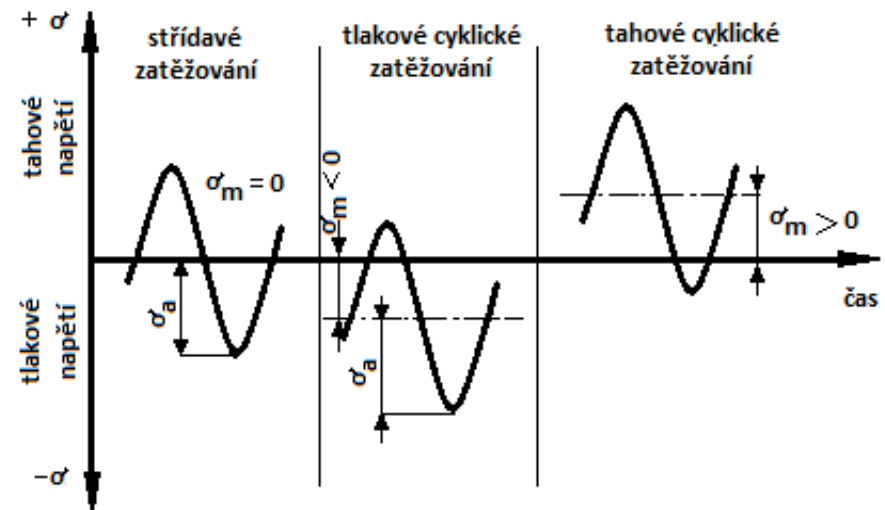
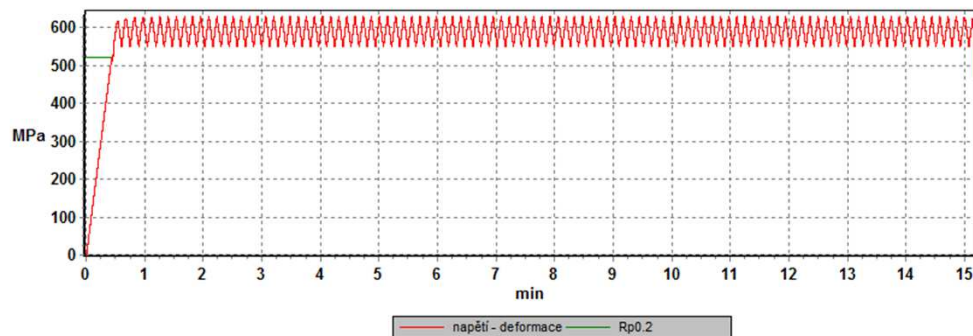
ZKOUŠKA ÚNAVOVÁ

- Provádí se na součástech, které podléhají dlouhodobému cyklickému zatížení (šrouby, hřídele, čepy atd.)
- Výsledkem prasknutí je často tzv.: únavový lom
- Zkouška spočívá v cyklickém střídavém napětí v tahu v tlaku.



DYNAMICKÉ ZKOUŠKY - ZKOUŠKA ÚNAVOVÁ

- Příklad zatěžování
- Podmínky: Povrch broušen: 150 SG
Vrub Broušen : CBN



Režimy cyklického
zatěžování



DĚKUJI ZA POZORNOST!

