INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Zkoušky mechanických vlastností

Výukový materiál

Ing. Vlastimil Hořák

Tento materiál byl vytvořen v rámci projektu OP VK č. CZ.1.07/1.1.24/01.0134
Rozvoj technického a přírodovědného vzdělávání na SOŠ a SOU v Kopřivnici

O projektu Rozvoj 2014

Základní údaje o projektu:

Název projektu:	Rozvoj technického a přírodovědného vzdělávání na SOŠ a SOU v Kopřivnici
Název operačního programu:	OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost
Prioritní osa:	7.1 Počáteční vzdělávání
Oblast podpory:	7.1.1 Zvyšování kvality ve vzdělávání
Předkladatel:	Vyšší odborná škola, Střední odborná škola a Střední odborné učiliště, Kopřivnice, příspěvková organizace
Partner projektu:	Porgest, a.s.
Rozpočet projektu:	9 288 965,12 Kč
Doba realizace:	14.02.2012-30.09.2014 (32 měsíců)

Cílem projektu zkráceně nazvaného Rozvoj 2014 je zvýšení kvality výuky přírodovědných i technických předmětů a odborného výcviku na VOŠ, SOŠ a SOU Kopřivnice prostřednictvím inovací obsahu příslušných vzdělávacích modulů, tvorby nových výukových i metodických materiálů a pořízení moderního vybavení pro výuku odpovídajících předmětů.

Projekt je řešen v těsné spolupráci s podniky - zaměstnavateli v regionu, abychom dosáhli co nejužšího propojení výuky s praxí. Využíváme zkušenosti partnera projektu – firmy Porgest, a. s. i dalších podniků, které projevily zájem s námi spolupracovat.

Modernizace výuky je zaměřena na tři oblasti:
- svařování,
- strojírenství,
- přírodní vědy (fyzika, chemie, biologie).

V období realizace projektu bylo vytvořeno celkem 10 vzdělávacích modulů zahrnujících metodické texty pro učitele, výukové texty pro žáky, prezentace i videosekvence. Bylo obnoveno vybavení svářečské dílny a strojní laboratoře, doplněno vybavení chemické laboratoře a vybudována nová učebna přírodovědných předmětů. Další informace a výstupy projektu jsou k dispozici na stránkách projektu www.voskop.cz/rozvoj.

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.

Úvod – technické materiály

1 Úvod – technické materiály 6
1.1 Přehled technických materiálů: 6
1.2 Příklady použití technických materiálů v praxi 7
2 Vlastnosti materiálů 15
2.1 Fyzikální vlastnosti 15
2.2 Chemické vlastnosti 15
2.3 Mechanické vlastnosti 15
2.4 Technologické vlastnosti 15
3 Mechanické vlastnosti 17
3.1 Základní druhy namáhání materiálu 17
3.2 Nejdůležitější mechanické vlastnosti 18
3.2.1 Pružnost (elasticita) 18
3.2.2 Tvárnost (plasticita) 19
3.2.3 Pevnost 19
3.2.4 Houževnatost 19
3.2.5 Tvrdost 19
3.3 Faktory ovlivňující mechanické vlastnosti 19
4 Mechanické zkoušky 20
4.1 Rozdělení mechanických zkoušek 20
4.2 Zkoušky statické 20
4.2.1 Chování pevného tělesa za působení vnějších sil 20
4.2.2 Deformace 21
4.2.3 Napětí 21
4.2.4 Závislost mezi deformací a napětím 21
5 Zkouška tahem 23
5.1 Podstata zkoušky 23
5.2 Zkušební stroj 23
5.3 Zkušební vzorky 25
5.4 Provedení zkoušky 26
5.5 Tahový diagram 28
5.6 Vyhodnocení zkoušky 30

5.6.1 Definice hlavních pojmů ... 30
5.6.2 Hlavní charakteristiky určované ze zkoušky tahem ... 31
5.6.2.1 Mez kluzu ... 31
5.6.2.2 Mez pevnosti v tahu ... 32
5.6.2.3 Tažnost ... 33
5.6.2.4 Kontrakce ... 33
6 Zkouška tlakem ... 34
6.1 Podstata zkoušky ... 34
6.2 Vyhodnocení zkoušky ... 34
6.3 Hlavní charakteristiky určované ze zkoušky tlakem ... 35
7 Statická zkouška ohybem ... 37
7.1 Podstata zkoušky ... 37
7.2 Vyhodnocení zkoušky ... 38
7.2.1 Mez pevnosti v ohybu ... 38
7.2.2 Poměrný průhyb ... 38
8 Rázová zkouška ohybem ... 39
8.1 Podstata zkoušky ... 39
8.2 Vyhodnocení zkoušky ... 41
9 Zkoušky tvrdosti ... 43
9.1 Zkouška tvrdosti podle Brinella - statická ... 43
9.1.1 Podstata zkoušky ... 43
9.1.2 Postup provedení zkoušky ... 43
9.2 Zkouška tvrdosti podle Brinella – dynamická ... 45
9.2.1 Podstata zkoušky ... 45
9.3 Zkouška tvrdosti podle Rockwella ... 46
9.3.1 Podstata zkoušky ... 46
9.3.1.1 Metoda HRA ... 46
9.3.1.2 Metoda HRB ... 46
9.3.1.3 Metoda HRC ... 46
9.3.2 Popis zkoušky ... 47
9.4 Zkouška tvrdosti podle Vickerse ... 48
9.4.1 Podstata zkoušky ... 48

9.4.2 Popis zkoušky 49

10 Zkouška hlubokotažnosti plechů podle Erichsena 51

10.1 Podstata zkoušky 51

10.2 Popis zkoušky 52

10.3 Tvar trhlin 53

11 Zdroje obrázků 54

1 Úvod – technické materiály

Vše, co je vyrobeno lidskou rukou, je z nějakého materiálu. Při návrhu nového výrobku, aby byly zajištěny optimální užitné vlastnosti, je velmi důležité vybrat ten nejvhodnější materiál s vhodnými vlastnostmi.

1.1 Přehled technických materiálů:

1. Kovy
   - 1.1. Železné kovy
     - 1.1.1.Oceli
       - 1.1.1.1. Konstrukční
       - 1.1.1.2. Nástrojové
       - 1.1.1.3. Na odlitky
     - 1.1.2.Litiny
       - 1.1.2.1. Šedá
       - 1.1.2.2. Tvárná
       - 1.1.2.3. Bílá
       - 1.1.2.4. Temperovaná
       - 1.1.2.5. Zvláštní
   - 1.2. Neželezné kovy
     - 1.2.1.Těžké (hustota je vyšší než 5.000 kg.m^{-3})
       - 1.2.1.1. Měď – Cu (měrná hmotnost 8 940 kg/m^3)
       - 1.2.1.2. Cín – Sn (měrná hmotnost 7 365 kg/m^3)
       - 1.2.1.3. Olovo – Pb (měrná hmotnost 11 340 kg/m^3)
       - 1.2.1.4. Zinek – Zn (měrná hmotnost 7 140 kg/m^3)
       - 1.2.1.5. Nikl – Ni (měrná hmotnost 8 908 kg/m^3)
       - 1.2.1.6. Kadmium – Cd (měrná hmotnost 8 650 kg/m^3)
       - 1.2.1.7. Antimon – Sb (měrná hmotnost 6 697 kg/m^3)
       - 1.2.1.8. Slitiny těchto kovů
     - 1.2.2.Lehké (hustota je nižší než 5.000 kg.m^{-3})
       - 1.2.2.1. Hliník – Al (měrná hmotnost 2 700 kg/m^3)
       - 1.2.2.2. Hořčík – Mg (měrná hmotnost 1 738 kg/m^3)
       - 1.2.2.3. Titan – Ti (měrná hmotnost 4 506 kg/m^3)
       - 1.2.2.4. Beryllium – Be (měrná hmotnost 1 848 kg/m^3)
       - 1.2.2.5. Slitiny těchto kovů
     - 1.2.3.Přísadové (řazeno podle významu)
       - 1.2.3.1. Chrom – Cr (měrná hmotnost 7 150 kg/m^3)
       - 1.2.3.2. Nikl – Ni (měrná hmotnost 8 908 kg/m^3)
       - 1.2.3.3. Mangan – Mn (měrná hmotnost 7 210 kg/m^3)
       - 1.2.3.4. Křemík – Si (měrná hmotnost 2 329 kg/m^3)

1.2.3.5. Molybden – Mo (měrná hmotnost 10 280 kg/m^3)
1.2.3.6. Wolfram – W (měrná hmotnost 19 250 kg/m^3)
1.2.3.7. Vanad – V (měrná hmotnost 6 000 kg/m^3)
1.2.3.8. Kobalt – Co (měrná hmotnost 8 900 kg/m^3)
1.2.3.9. Titan – Ti (měrná hmotnost 4 506 kg/m^3)
1.2.3.10. Hliník – Al (měrná hmotnost 2 700 kg/m^3)
1.2.3.11. Měď – Cu (měrná hmotnost 8 940 kg/m^3)
1.2.3.12. Niob – Nb (měrná hmotnost 8 570 kg/m^3)
1.2.3.13. Zirkonium – Zr (měrná hmotnost 6 520 kg/m^3)

2. Nekovové
   - 2.1. Plasty
   - 2.2. Dřevo
   - 2.3. Sklo
   - 2.4. Keramika
     - 2.4.1.Porcelán
     - 2.4.2.Kamenina
     - 2.4.3.Tavený čedič
   - 2.5. Asbest
   - 2.6. Textilie
   - 2.7. Papír
   - 2.8. Kůže

1.2 Příklady použití technických materiálů v praxi

1. Konstrukční ocel

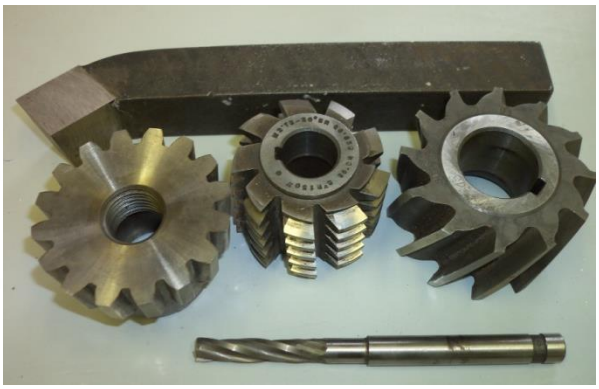
Obr. 1.1 Použití konstrukční oceli

Obr. 1.2 Použití konstrukční oceli

Úvod – technické materiály

2. Nástrojové oceli

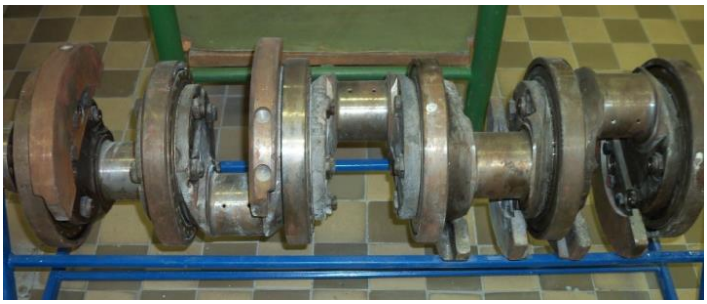
Obr. 1.3 Použití nástrojové oceli



Obr. 1.4 Použití nástrojové oceli

3. Oceli na odlitky

Obr. 1.5 Použití oceli na odlitky



Obr. 1.6 Použití oceli na odlitky

4. Litiny

Obr. 1.7 Použití litiny

Obr. 1.8 Použití litiny

Úvod – technické materiály

5. Těžké neželezné kovy – měď

Obr. 1.9 Použití mědi

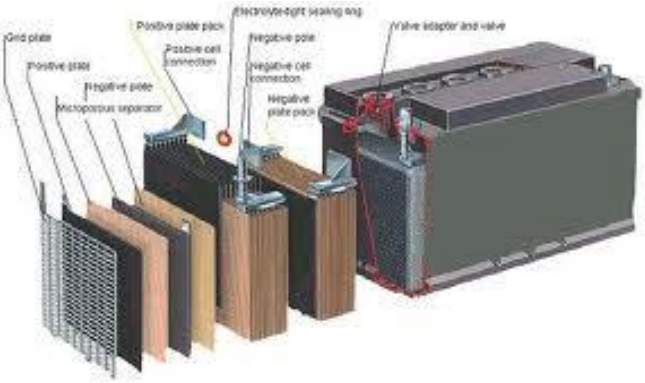
Obr. 1.10 Použití mědi

6. Těžké neželezné kovy – cín

Obr. 1.11 Použití cínu

Obr. 1.12 Použití cínu

7. Těžké neželezné kovy – olovo



Obr. 1.13 Použití olova

Obr. 1.14 Použití olova

Úvod – technické materiály

8. Těžké neželezné kovy – zinek

Obr. 1.15 Použití zinku

Obr. 1.16 Použití zinku

9. Těžké neželezné kovy – nikl

Obr. 1.17 Použití niklu

Obr. 1.18 Použití niklu

10. Těžké neželezné kovy – kadmium

Obr. 1.19 Použití kadmia

Obr. 1.20 Použití kadmia

Úvod – technické materiály

11. Těžké neželezné kovy – antimon

Obr. 1.21 Použití antimonu

Obr. 1.22 Použití antimonu

12. Lehké neželezné kovy – hliník

Obr. 1.23 Použití hliníku

Obr. 1.24 Použití hliníku

13. Lehké neželezné kovy – hořčík

Obr. 1.25 Použití hořčíku

Obr. 1.26 Použití hořčíku

Úvod – technické materiály

14. Lehké neželezné kovy – titan

Obr. 1.27 Použití titanu

Obr. 1.28 Použití titanu

15. Lehké neželezné kovy – beryllium

Obr. 1.29 Použití beryllia

16. Nekovové materiály – plasty

Obr. 1.30 Použití plastů

Obr. 1.31 Použití plastů

Úvod – technické materiály

17. Nekovové materiály – dřevo

Obr. 1.32 Použití dřeva

Obr. 1.33 Použití dřeva

18. Nekovové materiály – sklo

Obr. 1.34 Použití skla

Obr. 1.35 Použití skla

19. Nekovové materiály – kamenina, tavený čedič

Obr. 1.36 Použití čediče

Obr. 1.37 Použití čediče

Úvod – technické materiály

20. Nekovové materiály – papír, kůže

Obr. 1.38 Použití papíru

Obr. 1.39 Použití kůže

KONTROLNÍ OTÁZKY

1. Jak se rozdělují technické kovové materiály?
2. Jak se rozdělují technické nekovové materiály?

2 Vlastnosti materiálů

Technické materiály jsou charakterizovány svými vlastnostmi. Vlastnosti jsou projevy hmoty, které člověk pozoruje a zkoumá ze svého pohledu, tj. se zaměřením na užitné vlastnosti. Abychom mohli správně rozhodnout, který materiál použít, musíme dobře znát jejich vlastnosti, umět je měřit a kvantifikovat.

2.1 Fyzikální vlastnosti

1. Hustota
2. Teplota tání a tuhnutí
3. Délková a objemová roztažnost
4. Tepelná vodivost
5. Elektrická vodivost
6. Měrný elektrický odpor
7. Magnetické vlastnosti

2.2 Chemické vlastnosti

1. Odolnost proti korozi
2. Žáruvzdornost
3. Žáropevnost
4. Bobtnavost
5. Rozpustnost

2.3 Mechanické vlastnosti

1. Pevnost v tahu
2. Pevnost v tlaku
3. Pevnost v krutu
4. Pevnost v ohybu
5. Pevnost ve střihu
6. Tvrdost
7. Pružnost
8. Dynamická mez únavy

2.4 Technologické vlastnosti

1. Obrobitelnost
2. Tvárnost
3. Lámavost
4. Kujnost

Vlastnosti materiálů

5. Svařitelnost
6. Slévatelnost
7. Prokalitelnost
8. Odolnost proti opotřebení

KONTROLNÍ OTÁZKY

1. Jaké jsou základní fyzikální vlastnosti?
2. Jaké jsou základní chemické vlastnosti?
3. Jaké jsou základní mechanické vlastnosti?
4. Jaké jsou základní technologické vlastnosti?

3 Mechanické vlastnosti

Popisují chování materiálu na vnější namáhání.

3.1 Základní druhy namáhání materiálu

Tah

Označuje proces, který je způsoben tzv. tažnou silou.

Obr. 3.1 Tah

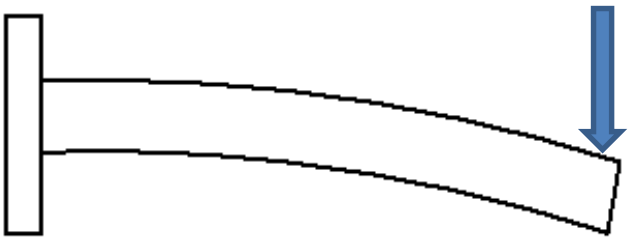
Tlak

Tlaková síla způsobuje stlačování tělesa. Ve stlačitelných látkách způsobuje tlak deformaci.

Obr. 3.2 Tlak

Ohyb

Při namáhání ohybem se část vláken součásti prodlužuje (je namáhána na tah), část se zkracuje (je namáhána tlakem). Součást se ohýbá a velikost deformace se vyjadřuje průhybem **y**.

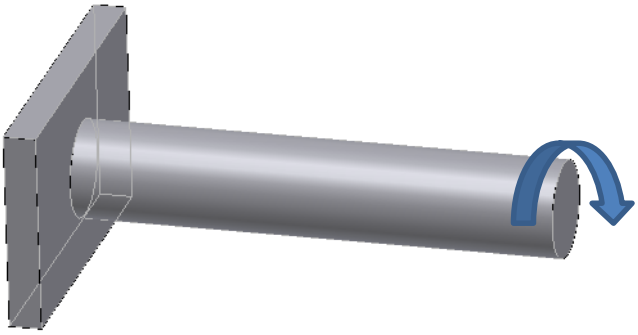


Obr. 3.3 Ohyb

Mechanické vlastnosti

Krut

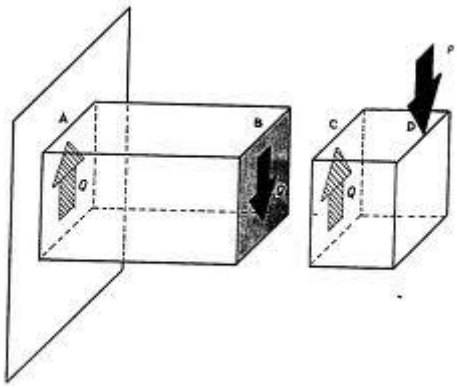
Součást je namáhána kroutícím momentem (např. při přenášení otáček).



Obr. 3.4 Krut

Střih

Namáhání na střih (smykem) vzniká tehdy, působí-li dvě stejně velké síly proti sobě v rovině namáhaného průřezu.



Obr. 3.5 Střih

3.2 Nejdůležitější mechanické vlastnosti

Pomocí zkoušek mechanických vlastností jsou určovány základní mechanické charakteristiky používané k hodnocení jakosti materiálu, pro dimenzování konstrukcí i k obecnému posouzení vhodnosti určitých technologických operací při výrobě. Za základní jsou považovány ty mechanické vlastnosti, které jsou určeny pomocí zkoušky tahem, zkouškou rázem v ohybu a některou z metod zkoušení tvrdosti materiálu.

3.2.1 Pružnost (elasticita)

Je schopnost materiálu deformovat se před porušením **pružně**. Pružná deformace je **vratná**, při odlehčení se rozměry tělesa vrátí na původní hodnoty. Při pružné deformaci neplatí zákon zachování objemu.

3.2.2 Tvárnost (plasticita)

Je schopnost materiálu deformovat se před porušením **plasticky**. Plastická deformace je deformace **nevratná**, při odlehčení se rozměry tělesa **nevrátí na původní hodnoty**. Při plastické deformaci platí zákon zachování objemu.

3.2.3 Pevnost

Je odolnost materiálu proti **trvalému** porušení soudružnosti částic.

3.2.4 Houževnatost

Je odolnost materiálu vůči vzniku deformace nebo porušení. Mírou houževnatosti je množství mechanické práce potřebné k vytvoření deformace nebo k porušení materiálu.

3.2.5 Tvrdost

Je definovaná jako odpor, který klade materiál proti vnikání cizího tělesa.

3.3 Faktory ovlivňující mechanické vlastnosti

Mechanické vlastnosti jsou velmi výrazně ovlivněny mnoha interními a externími faktory. Mezi nejdůležitější patří:

Interní faktory

- chemické složení
- struktura
- velikost a tvar tělesa
- konstrukční a technologické vruby
- stav povrchu

Externí faktory:

- teplota
- rychlost deformace
- druh a časový průběh zatěžování
- okolní prostředí

KONTROLNÍ OTÁZKY

1. Proč musíme znát vlastnosti materiálu, který chceme použít při návrhu nového výrobku?
2. Jaké jsou základní druhy namáhání materiálu?
3. Jaké jsou nejdůležitější mechanické vlastnosti?
4. Co ovlivňuje mechanické vlastnosti?

4 Mechanické zkoušky

4.1 Rozdělení mechanických zkoušek:

- **Základní zkoušky mechanických vlastností**
  1. Zkoušky statické
  2. Zkoušky tvrdosti
  3. Zkouška rázem v ohybu

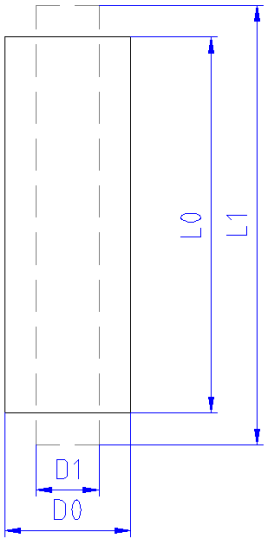
- **Zkoušky pro hodnocení mezních stavů materiálů**
  1. Zkoušky křehkolomových vlastností materiálů
  2. Únavové zkoušky
  3. Zkoušky tečení materiálů

4.2 Zkoušky statické

Statické zkoušky patří do skupiny mechanických zkoušek, které patří k vůbec nejrozšířenějším způsobům zkoušení materiálů. Principem je krátkodobé (v minutách) namáhání zkušebního vzorku za použití **klidného spojitého zatížení**, (například v tahu, tlaku, smyku, ohybu, krutu), malými rychlostmi deformace, dokud nedojde k jeho porušení. Rychlost deformace je přímo úměrná v čase.

4.2.1 Chování pevného tělesa za působení vnějších sil

Působí-li na pevné těleso vnější síla, mění těleso svůj tvar, tj. **deformuje se**. Vnitřní síly v tělese této změně tvaru brání, a tím současně vzniká v tělese **napětí.**



Obr. 4.1 Změna tvaru při působení vnějších sil

Mechanické zkoušky

4.2.2 Deformace

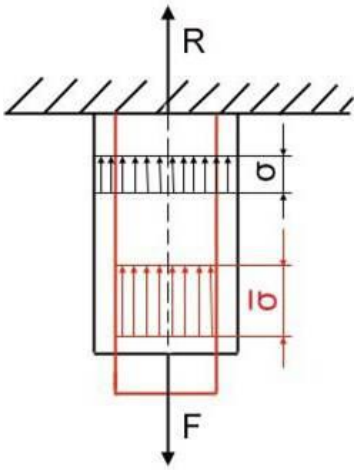
Změna tvaru tělesa se nazývá **deformace**. Deformaci v podélném směru můžeme definovat (kvantifikovat) veličinou, která se nazývá **poměrná deformace ε** a je definována takto:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L - L_0}{L_0} \quad [-] \qquad (1)$$

4.2.3 Napětí

Vnitřní síly deformaci brání, a tím vzniká v tělese **napětí**. Napětí je tedy míra vnitřního rozložení sil na jednotku plochy tělesa, způsobených vnějším silovým zatížením.

- ☐ Smluvní napětí $\sigma = \frac{F}{S_0}$ $[MPa]$ (2)
- ☐ Skutečné napětí $\bar{\sigma} = \frac{F}{S}$ $[MPa]$ (3)



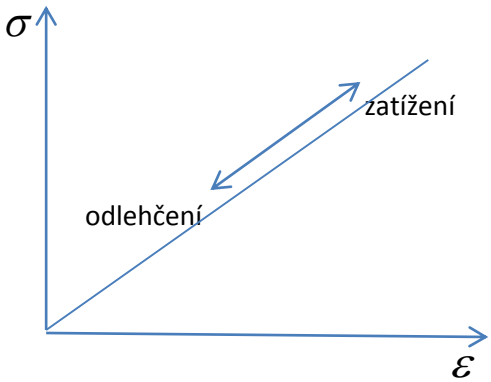
Obr. 4.2 Smluvní a skutečné napětí

4.2.4 Závislost mezi deformací a napětím

Deformace může být **pružná** (po odstranění síly se materiál vrátí do původního tvaru) nebo **nepružná – plastická** (materiál si po odstranění síly zachová zdeformovaný tvar). Každý materiál se deformuje částečně pružně a částečně nepružně. U konstrukčních materiálů výrazně převyšuje pružná deformace.

Pokud je deformace přímo úměrná napětí, jde o:

- **materiály s lineární závislostí deformace σ – ε**



Obr. 4.3 Lineární závislost deformace

Mechanické zkoušky

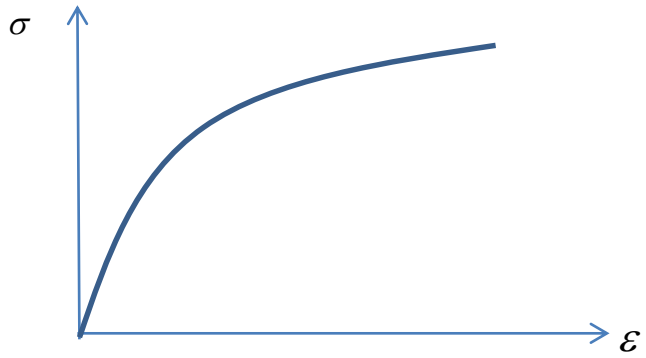
Pro tyto materiály platí **Hookeův zákon**:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon_e \quad [MPa] \tag{4}$$

E - modul pružnosti v tahu
Pro ocel platí: E = 2,1 . 10^5 MPa

Pokud není deformace přímo úměrná napětí, jde o:

- **materiály s nelineární závislostí deformace σ – ε**



Obr. 4.4 Nelineární závislost deformace

Pro tyto materiály neplatí Hookeův zákon a vztah mezi napětím a elastickou deformací nelze jednoduše definovat přímou závislostí. Toto chování je typické pro elastomery.

Celková deformace
Překročí-li vnější zatížení určitou mez, vytvoří se v materiálu plastická, tj. trvalá deformace. Celková deformace pak sestává ze dvou složek:

$$\varepsilon = \varepsilon_e + \varepsilon_p \quad [-] \tag{5}$$

V okamžiku, kdy na těleso přestane působit vnější zatížení, elastická deformace vymizí, zatímco plastická deformace zůstane zachována.

KONTROLNÍ OTÁZKY

1. Jaké jsou základní zkoušky mechanických vlastností?
2. Jak lze definovat obecně statické zkoušky?
3. Co je to deformace materiálu?
4. Co je to napětí materiálu?
5. Co je to Hookeův zákon?
6. Čím je dána celková deformace?

5 Zkouška tahem

5.1 Podstata zkoušky

Zkouška tahem je základní zkouška, která je nejrozšířenější a nejuznávanější zkušební metodou na hodnocení mechanických vlastností materiálů. Zkouška spočívá v deformaci zkušební tyče tahovým zatížením do přetržení. Zkouška se nedělá na hotové součásti, ale na zkušebních vzorcích, jejichž tvary jsou normalizovány.
Zkouškou zjišťujeme tyto hodnoty:

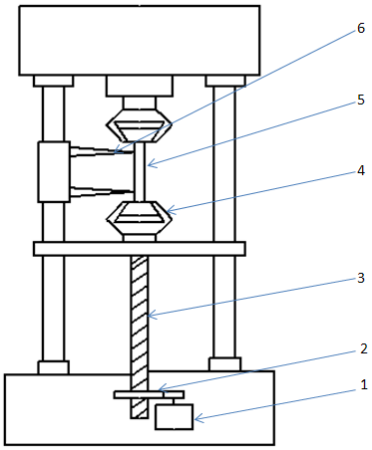
- mez pevnosti v tahu
- mez kluzu
- tažnost
- zúžení (kontrakce)

5.2 Zkušební stroj

Zkouška se provádí na zařízení zvaném univerzální trhací stroj.

A) Trhací stroje starší konstrukce

Stroj tvoří pevný rám, v jehož horní části je umístěno siloměrné zařízení. Zkušební vzorek je jedním koncem uchycen v horní upínací hlavě spojené se siloměrným zařízením a druhým koncem pomocí spodní upínací hlavy k pohyblivému střednímu příčníku, který je uváděn do pohybu motorem přes vřeteno. Při pohybu středního příčníku dochází k postupnému zatěžování a deformaci zkušebního vzorku. Zátěžná síla F měřená pomocí sklonné páky je vychýlením závaží přenášena přes hřebenovou tyč s pastorkem na ukazatel a pisátko registračního zařízení. Pohyb středního příčníku vyvolává prodloužení zkušební tyče a zároveň zajišťuje odvíjení registračního papíru. Vhodnou úpravou uchycení zkušebního vzorku je možno na zkušebním stroji provádět i ostatní mechanické zkoušky (tlakem, ohybem, krutem, střihem). Pohon zkušebních strojů může být mechanický nebo hydraulický (u nich je působící síla snímána z hydrostatického tlaku oleje v pracovním válci).
Schéma univerzálního trhacího stroje:

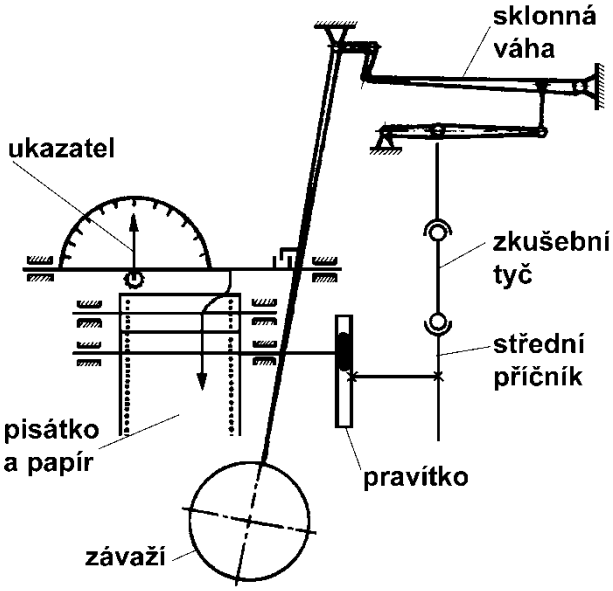


Obr. 5.1 Univerzální trhací stroj staré konstrukce

Zkouška tahem

1 – elektromotor, 2 - ozubené kolo, 3 – pohybový šroub, 4 - upínací hlava, 5 - zkušební vzorek, 6 – snímač prodloužení

Schéma zapisovacího zařízení:
Snímání prodloužení z pohybu příčníku vnáší do měření chybu, která je způsobena pružnou deformací celého měřicího řetězce zahrnujícího horní a střední příčník, upínací čelisti a zkušební tyč včetně vymezení vůlí v mechanismu.



Obr. 5.2 Schéma zapisovacího zařízení

B) Trhací stroje nové konstrukce

Dovolují registrovat skutečné prodloužení zkušební tyče pomocí zařízení zvaného průtahoměr, který se pomocí měřicích břitů připevňuje na zkušební tyč. Prodlužování tyče je pomocí tenzometrického či indukčního snímače převedeno na elektrický signál, který je možno dále elektronicky zpracovávat pomocí počítače. Současně je pomocí tenzometrické hlavy upevněné v horním příčníku zaznamenávána i velikost působící zátěžné síly.

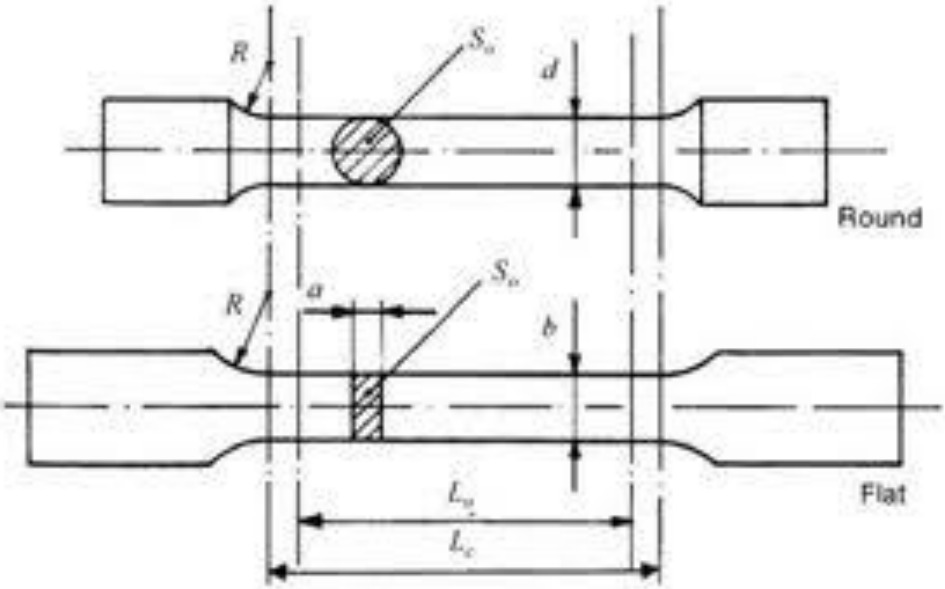
Obr. 5.3 Trhací stroj nové konstrukce

5.3 Zkušební vzorky

Vzorky mohou být:

- kruhového průřezu s upínacími konci (konce mají tvar přizpůsobený čelistem zkušebního stroje),
- plochého průřezu s upínacími konci (konce mají tvar přizpůsobený čelistem zkušebního stroje),
- plochého průřezu stejné šířky bez upínacích konců.

Základní rozměry zkušebních vzorků:



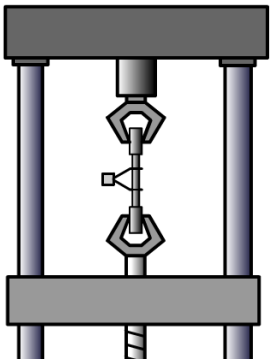
Obr. 5.4 Základní tvary a rozměry vzorků

Použité symboly:

L_0	(mm)	počáteční měřená délka
L_c	(mm)	zkoušená délka
d	(mm)	průměr zkoušené délky válcového vzorku
a	(mm)	tloušťka plochého vzorku
b	(mm)	šířka plochého vzorku
S_0	(mm^2)	počáteční průřez vzorku

Zkouška tahem

5.4 Provedení zkoušky

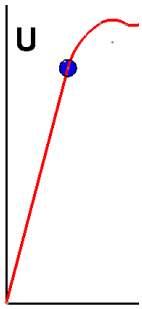


1. Zkušební tyč se upne do trhacího stroje tak, aby zatížení působilo pokud možno v ose zkušební tyče.

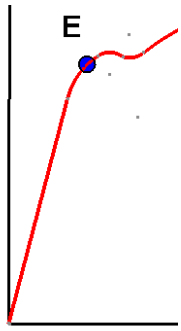
2. Nastaví se rychlost deformace na hodnotu 10 mm/min.

3. Po spuštění motoru je do pohybu uveden střední příčník. Zkušební tyč je tak zatěžována tahovou silou F, jejíž velikost je registrována v závislosti na prodloužení zkušební tyče.

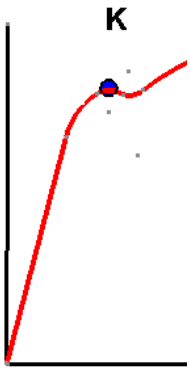
4. Software nám vykreslí tahový diagram.



5. Bod U – **mez úměrnosti**: do této fáze zkoušky je prodloužení vzorku přímo úměrné napětí a průběh závislosti je tedy přímkový.



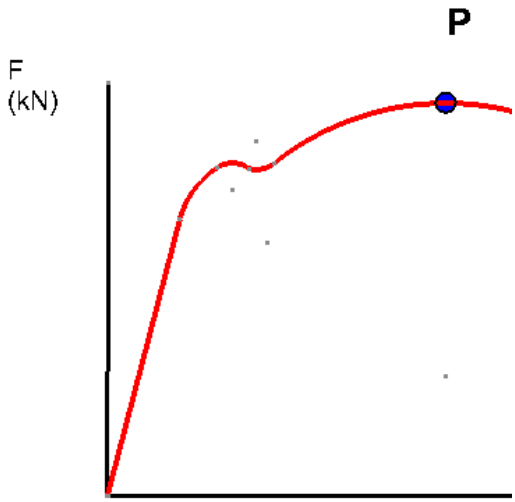
6. Bod E – **mez pružnosti (elasticity)**: je napětí, kdy po úplném odlehčení, se vzorek vrátí do původní velikosti (nejsou tedy žádné trvalé deformace).



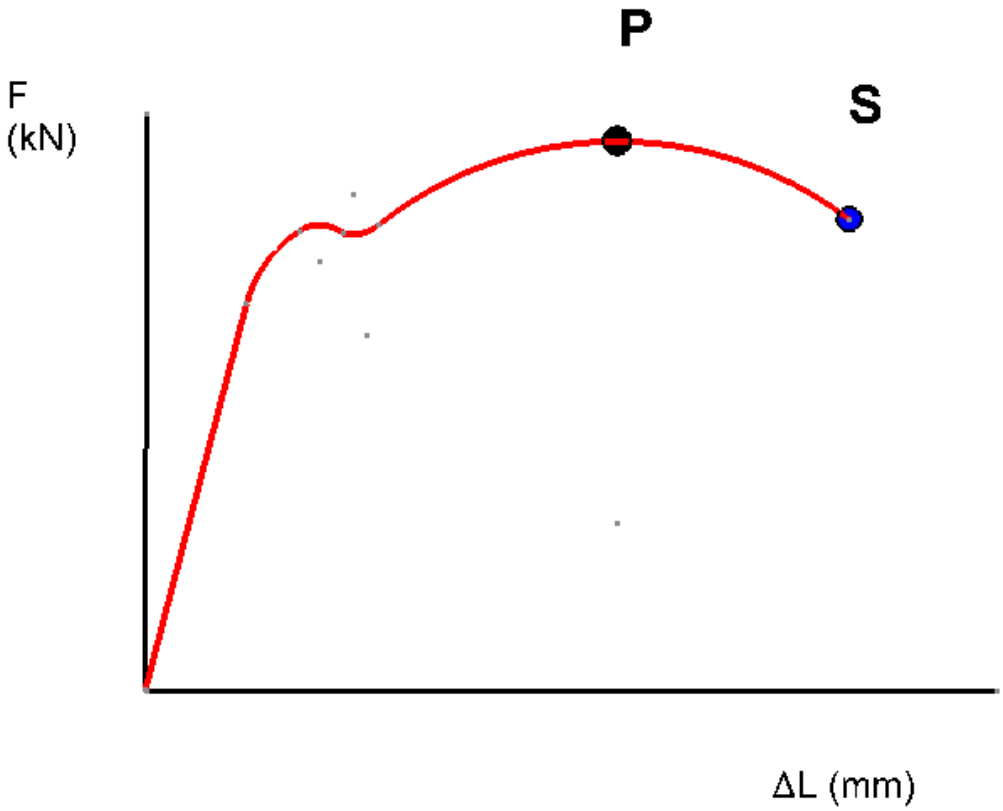
7. Bod K – **mez kluzu**: je napětí, kdy nastávají podstatné trvalé deformace, které někdy dočasně pokračují, aniž se zároveň zvyšuje napětí.

Zkouška tahem

8. Bod P – **mez pevnosti v tahu**: od bodu K se vzorek výrazně prodlužuje, aniž se výrazně zvyšuje zatížení. Bod P odpovídá největšímu napětí dosaženému při zkoušce tahem.



9. Zkouška tahem končí přetržením zkušebního vzorku – bod S: jde o napětí při přetržení vzorku. Toto napětí je menší než pevnost v tahu.



Obr. 5.5 Výsledný tahový diagram

Zkouška tahem

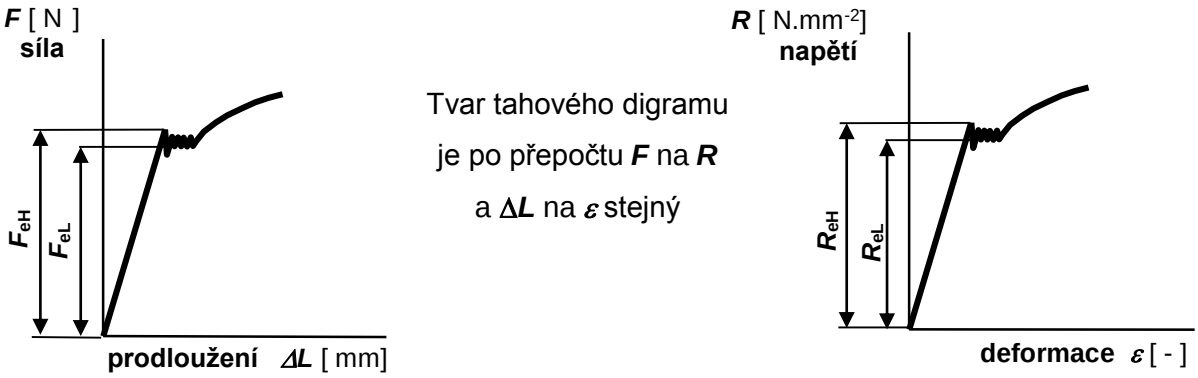
Obr. 5.6 Ukázka vzorků po přetržení

10. Provede se vyhodnocení zkoušky na pevnostní charakteristiky.

11. Provede se vyhodnocení zkoušky na deformační charakteristiky.

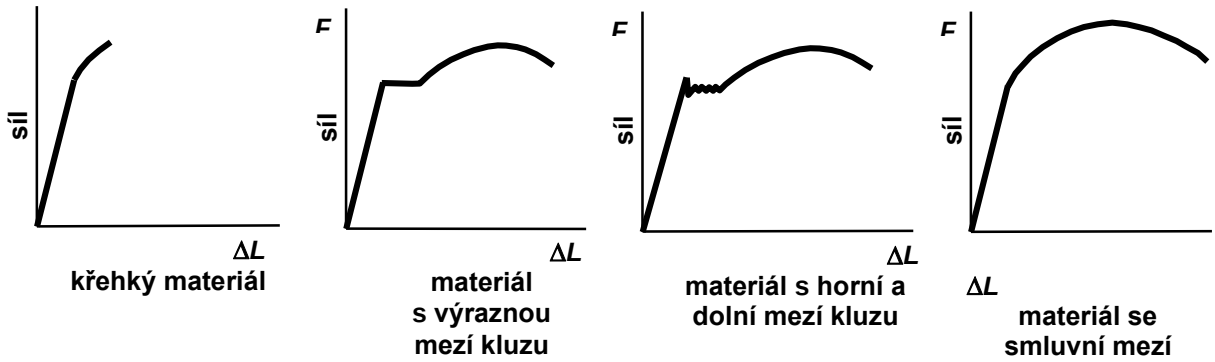
5.5 Tahový diagram

Udává závislost prodloužení na zatěžující síle nebo závislost poměrného prodloužení na napětí. Obě charakteristiky jsou tvarově shodné:

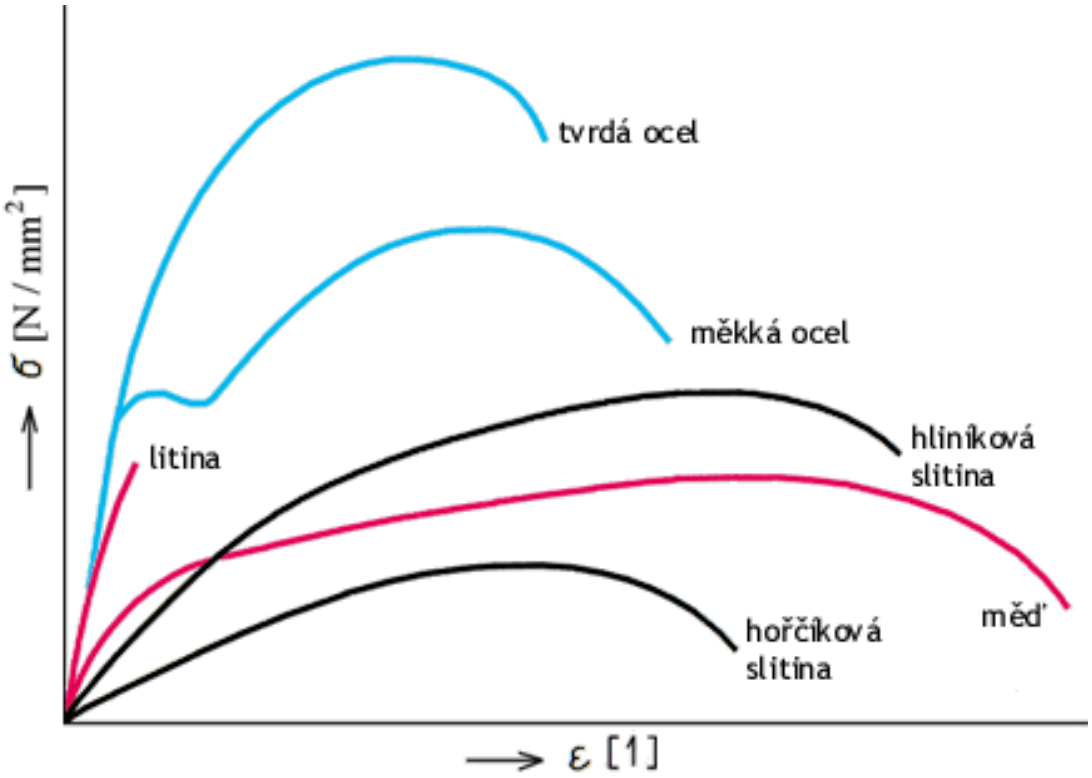


Obr. 5.7 Závislosti u tahového diagramu

Zkouška tahem



Obr. 5.8 Základní typy tahových diagramů podle meze kluzu



Obr. 5.9 Základní typy tahových diagramů různých kovů

5.6 Vyhodnocení zkoušky

5.6.1 Definice hlavních pojmů

- Počáteční měřená délka zkušební tyče L_0,

- Délka zkušební tyče měřená v kterémkoliv okamžiku tahové zkoušky L.

- Prodloužení ΔL je přírůstek počáteční měřené délky L_0 v každém okamžiku během zkoušky:

$$\Delta L = L - L_0 \quad \text{[mm].} \qquad (6)$$

- Prodloužení v [%] je prodloužení zkušební tyče vyjádřené v procentech počáteční měřené délky L_0 :

$$\text{prodloužení v \%} = \frac{\Delta L}{L_0} \cdot 100 \quad \text{[\%].} \qquad (7)$$

- Poměrná deformace ε je přírůstek počáteční měřené délky L_0 v každém okamžiku během zkoušky vztažený na počáteční měřenou délku L_0:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad \text{[–].} \qquad (8)$$

- Smluvní napětí R je poměr zátěžné síly F a počátečního průřezu zkušební tyče S_0:

$$R = \frac{F}{S_0} \quad \text{[N.mm-2].} \qquad (9)$$

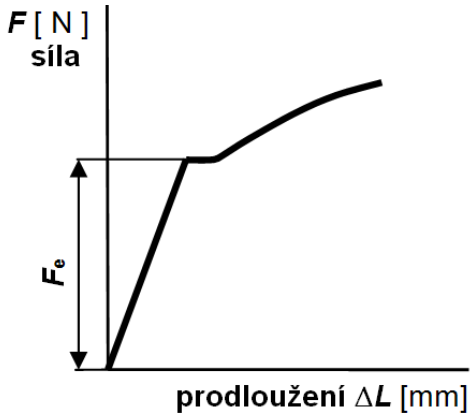
5.6.2 Hlavní charakteristiky určované ze zkoušky tahem

5.6.2.1 Mez kluzu

Mez kluzu je napětí, při kterém se zkoušený materiál začíná plasticky deformovat. V praxi se za mez kluzu považuje napětí způsobující první trvalou deformaci. Charakter přechodu mezi pružnou a trvalou deformací je dán typem materiálu; mohou se vyskytovat tyto průběhy:

I. **Výrazná mez kluzu** - je napětí, kdy nastává trvalá deformace, aniž se zvyšuje napětí .

$$R_e = \frac{F_e}{S_0} \quad \text{[N.mm-2]} \quad (10)$$



Obr. 5.10 Výrazná mez kluzu

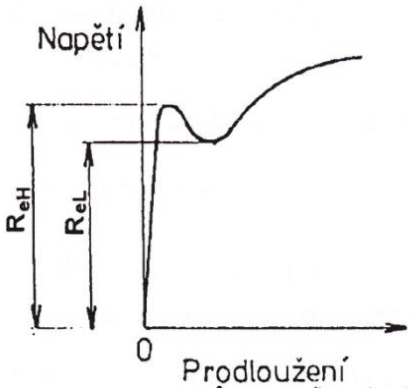
II. **Horní a dolní mez kluzu**:

Horní mez kluzu - je napětí odpovídající prvnímu poklesu zatížení.

$$R_{eH} = \frac{F_{eH}}{S_0} \quad \text{[N.mm-2]} \quad (11)$$

Dolní mez kluzu - je nejnižší napětí v průběhu plastické deformace.

$$R_{eL} = \frac{F_{eL}}{S_0} \quad \text{[N.mm-2]} (12)$$

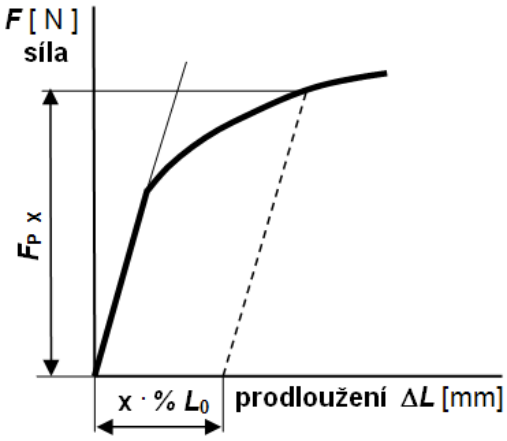


Obr. 5.11 Horní a dolní mez kluzu

III. **Smluvní mez kluzu -** je napětí, při kterém plastické prodloužení zkušební tyče dosáhne předepsané hodnoty vyjádřené v % počáteční měřené délky L_0. Symbol **x** v označení meze kluzu znamená násobek % počáteční měřené délky L_0.

$$R_p x = \frac{F_p x}{S_0} \qquad \text{[N.mm-2]} \qquad (13)$$

V konkrétním příkladě při zápisu $R_p 0{,}2$ je smluvní mez kluzu napětí, které způsobí plastické prodloužení o velikosti $0{,}2 \cdot \frac{L_0}{100}$.

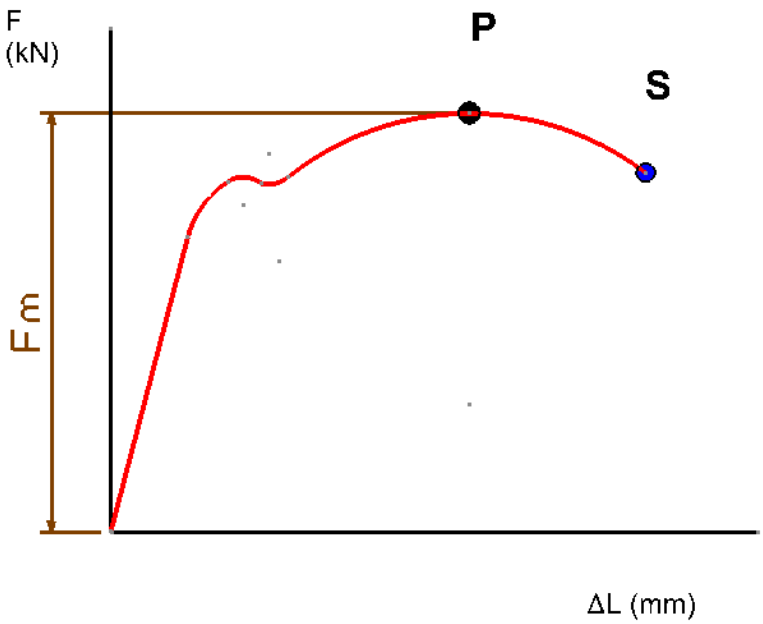


Obr. 5.12 Smluvní mez kluzu

5.6.2.2 Mez pevnosti v tahu

Je smluvní hodnota napětí odpovídající největšímu zatížení F_m :

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} \qquad \text{[N.mm-2]} \qquad (14)$$



Obr. 5.13 Určení pevnosti v tahu

Zkouška tahem

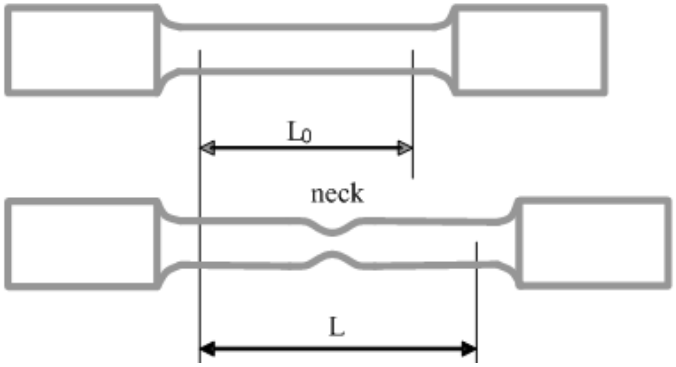
5.6.2.3 Tažnost

Tažnost **A** je trvalé prodloužení měřené délky po přetržení **($L_1 - L_0$)** vyjádřené v procentech počáteční měřené délky **L_0** .

$$A = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \cdot 100 \qquad [\,\%\,] \qquad (15)$$

L_1 – konečná délka zkušebního vzorku po přetržení (mm)

L_0 – počáteční měřená délka zkušebního vzorku (mm)



Obr. 5.14 Určení trvalé délky po přetržení

5.6.2.4 Kontrakce

Je dána poměrem změny průřezu tyče po přetržení **($S_0 - S_u$)** k původnímu průřezu tyče **S_0** vyjádřená v procentech.

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \cdot 100 \qquad [\,\%\,] \qquad (16)$$

S_0 – počáteční průřez zkušebního vzorku (mm^2)
S_u – nejmenší průřez zkušebního vzorku po přetržení (mm^2)

KONTROLNÍ OTÁZKY

1. Jaký je princip zkoušky tahem?
2. Jaké materiálové charakteristiky můžeme zjistit u zkoušky tahem?
3. Jaké mohou být tvary vzorků?
4. Popište průběh zkoušky, vyjmenujte všechny významné meze.
5. Co je to tahový diagram?
6. Jaké jsou typy tahových diagramů podle meze kluzu?
7. Co je to mez kluzu a jak se vypočítá?
8. Co je to mez pevnosti a jak se vypočítá?
9. Co je to tažnost a jak se vypočítá?
10. Co je to kontrakce a jak se vypočítá?

6 Zkouška tlakem

Zkouškou tlakem zjišťujeme mez pevnosti v tlaku. U ocelí nebývá tato zkouška nutná, protože hodnoty meze úměrnosti a meze kluzu jsou přibližně srovnatelné. Proto se tato zkouška provádí především u křehkých materiálů (např. šedé litiny, stavebních materiálů). Zkušební vzorky mají tvar válečku o průměru 10 až 30 mm, výška válečku u přesných zkoušek bývá (2.5 až 3) x průměr. Zkušební vzorky u betonu, dřeva, kamene apod. mají tvar krychle.

6.1 Podstata zkoušky

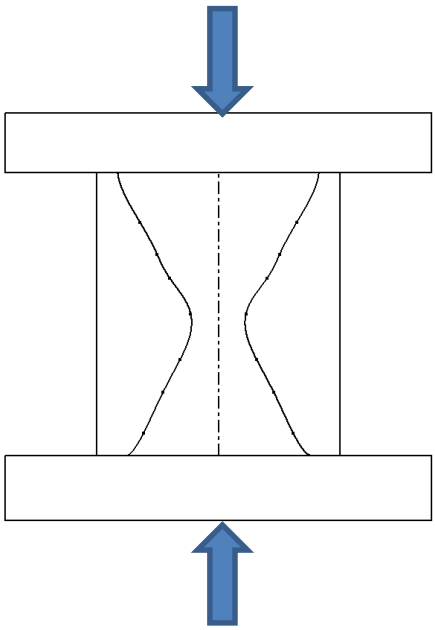
Zkouška se provádí na stejném zařízení jako u tahové zkoušky, tedy na univerzálním trhacím stroji. Zkušební vzorek je zatěžován rovnoměrně stoupající tlakovou silou až do meze pevnosti v tlaku.

6.2 Vyhodnocení zkoušky

A. **Křehké materiály**: Dosažení meze pevnosti v tlaku se projeví trhlinou přibližně pod úhlem 45^0.

Mez pevnosti v tlaku: $$\sigma = \frac{\mathbf{Fmax}}{\mathbf{S0}} \quad \mathbf{(\ MPa)} \qquad (17)$$

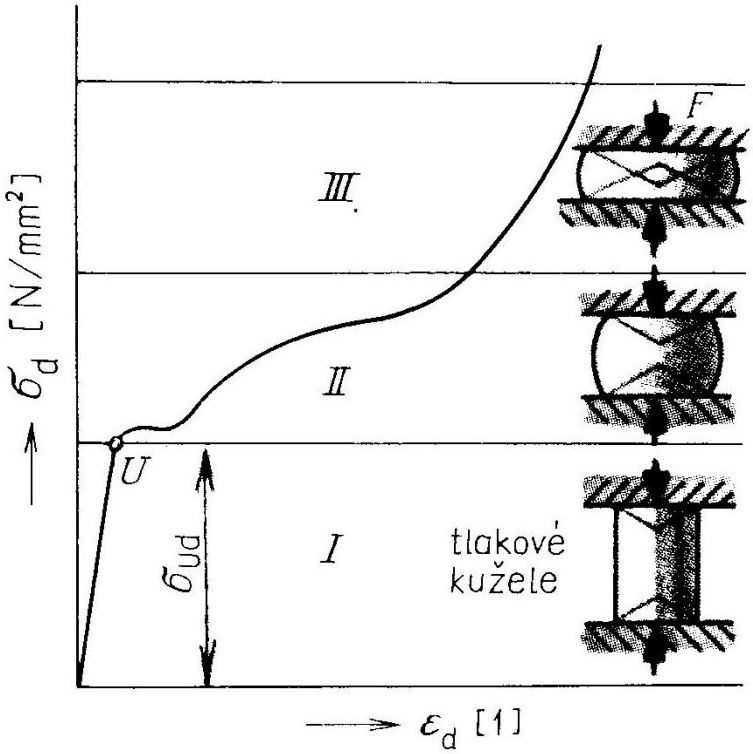
F_{max} – největší síla před porušením zkušebního tělesa (N)
S_0 – průřez zkušebního tělesa před zkouškou (mm^2)



Obr. 6.1 Průběh porušení zkušebního válečku u křehkého materiálu

B. **Houževnaté materiály:** Při zkoušce nastává jen plastická deformace zkušebního tělesa, nevznikají trhliny. Mez pevnosti v tlaku pak určujeme podle velikosti plastické deformace.

- První fáze: křivka napětí je strmá, začnou se tvořit tzv. tlakové kužele.
- Druhá fáze: růst napětí je menší, vzorek se deformuje do stran.
- Třetí fáze: tlakové kužele se k sobě přiblížily, napětí má opět strmý průběh.



Obr. 6.2 Diagram tlakové zkoušky houževnaté oceli

6.3 Hlavní charakteristiky určované ze zkoušky tlakem

Mez úměrnosti v tlaku

$$\sigma_{Ud} = \frac{F_{Ud}}{S_0} \quad (\text{MPa}) \qquad (18)$$

F_{Ud} – síla na mezi úměrnosti (bod U – do této fáze je napětí přímo úměrné prodloužení) (N)

Zkouška tlakem

Mez pevnosti v tlaku

$$\sigma_{Pd} = \frac{F_{max}}{S_0} \text{ (MPa)} \qquad (19)$$

F_{max} – největší síla před porušením zkušebního tělesa (N)
S_0 – průřez zkušebního tělesa před zkouškou (mm^2)

Prosté zkrácení (stlačení) v tlaku

$$\Delta h = h_0 - h_1 \quad \text{(mm)} \qquad (20)$$

Poměrné zkrácení (stlačení) v tlaku

$$\varepsilon d = \frac{h0 - h1}{h0} \qquad (21)$$

Poměrné zkrácení (stlačení) v tlaku v procentech

$$\sigma_d = \frac{h0 - h1}{h0} \cdot 100 \text{ (\%)} \qquad (22)$$

Příčné rozšíření v tlaku

$$\psi_d = \frac{S1 - S0}{S0} \cdot 100 \text{ (\%)} \qquad (23)$$

KONTROLNÍ OTÁZKY

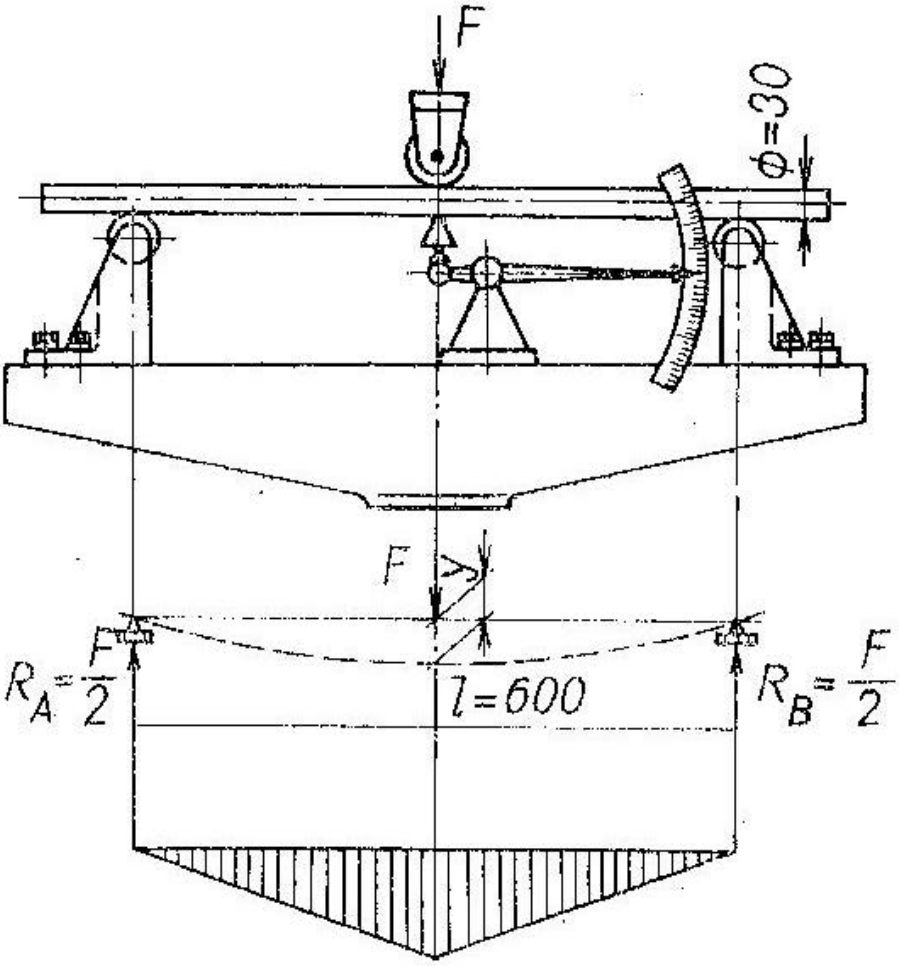
1. Jaký je princip zkoušky tlakem?
2. Jaké mohou být tvary vzorků?
3. Popište průběh zkoušky, vyjmenujte všechny významné meze.
4. Co je to mez úměrnosti v tlaku a jak se vypočítá?
5. Co je to mez pevnosti v tlaku a jak se vypočítá?
6. Co je to poměrné zkrácení v tlaku σ_d a jak se vypočítá?
7. Co je to příčné rozšíření v tlaku ψd a jak se vypočítá?

7 Statická zkouška ohybem

Zkoušku používáme u křehkých materiálů, převážně u šedé litiny, neboť u houževnatých materiálů k porušení tyče nedojde. U křehkých materiálů dojde k porušení již při malém prohnutí. Zkouškou zjišťujeme pevnost v ohybu a průhyb. Zkouška se dělá na zkušebních tyčích, které se odlévají na stojato předepsaným způsobem. Jejich povrch nesmí mít žádné nerovnosti.

7.1 Podstata zkoušky

Zkouška se provádí na stejném zařízení jako u tahové zkoušky, tedy na univerzálním trhacím stroji. Konce zkušební tyče jsou podepřeny na tuhých otočných válcích ve vzdálenosti ***l*** tak, aby toto podepření nebránilo posuvu a volnému deformování. Zkušební tyč je zatěžována rovnoměrně stoupající silou, která způsobí namáhání v ohybu až do jeho porušení nebo předepsaného průhybu.



Obr. 7.1 Přídavné zařízení pro statickou zkoušku ohybem

7.2 Vyhodnocení zkoušky

7.2.1 Mez pevnosti v ohybu

Je to napětí, při němž se přelomí zkušební tyč. Tuto charakteristiku zjistíme výpočtem z velikosti zatěžující síly a rozměru zkušební tyče ze vztahu pro namáhání nosníku na dvou podporách:

$$\sigma_{P0} = \frac{M_0}{W_0} = \frac{F_{max} \cdot l}{4\, W_0} \quad (\text{MPa}) \qquad (24)$$

F_{max} – největší síla při zlomení zkušební tyče (N)
l – vzdálenost mezi podpěrami (mm)
W_0 – modul průřezu v ohybu (mm^3)

Pro kruhový průřez o průměru ***d***:

$$W_0 = \frac{\pi \cdot d^3}{32} \qquad (25)$$

7.2.2 Poměrný průhyb

$$\psi = \frac{y}{l} \cdot 100 \quad (\%) \qquad (26)$$

y – průhyb při lomu tyče

l – vzdálenost mezi podpěrami (mm)

KONTROLNÍ OTÁZKY

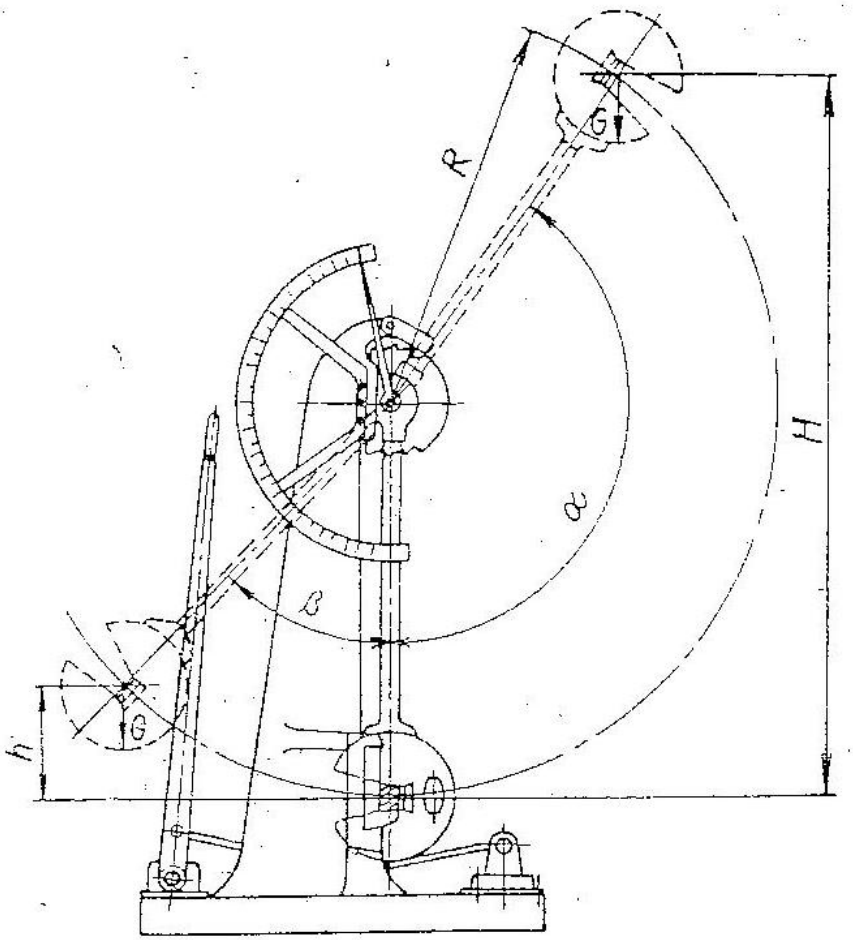
1. Jaký je princip statické zkoušky ohybem?
2. Co je to mez pevnosti v ohybu a jak se vypočítá?
3. Co je to poměrný průhyb a jak se vypočítá?

8 Rázová zkouška ohybem

Jedná se o zkoušku dynamickou, kdy se zjišťuje, jak se chová materiál při **dynamickém zatížení** (náhlý vzrůst zatížení). Zkouška rázem v ohybu je nejpoužívanější. Používá se hlavně u tepelně zpracovaných ocelí a u svarů. Zkouškou zjišťujeme **houževnatost** nebo **křehkost** materiálu. Houževnatost materiálu lze definovat jako schopnost materiálu pohlcovat mechanické zatížení. Materiály s malou houževnatostí jsou křehké, naopak materiály s velkou houževnatostí nazýváme houževnatými.

8.1 Podstata zkoušky

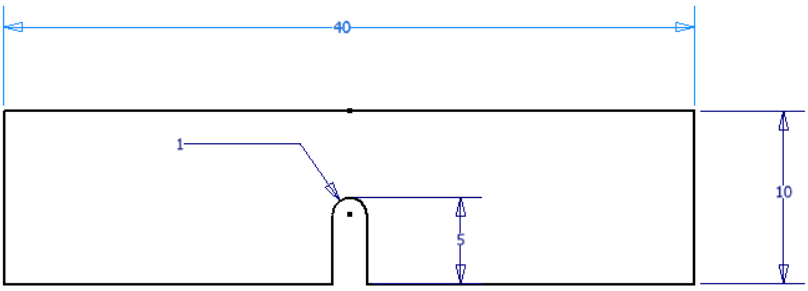
Zkušební vzorek se přerazí jedním nárazem kyvadlového kladiva. Potom podíl spotřebované nárazové práce, potřebné k přeražení vzorku, je mírou houževnatosti materiálu. Čím větší je spotřebovaná nárazová práce, tím je houževnatost materiálu větší. A naopak, čím je spotřebovaná nárazová práce menší (kladivo snadněji přerazí vzorek), tím je materiál křehčí.
Zkouška se provádí na zařízení zvaném **Charpyho kladivo**. Zařízení se skládá z tuhé litinové základní desky a dvou stojanů, mezi kterými je točně uloženo kyvadlo. Kladivo má vybrání s kaleným břitem.



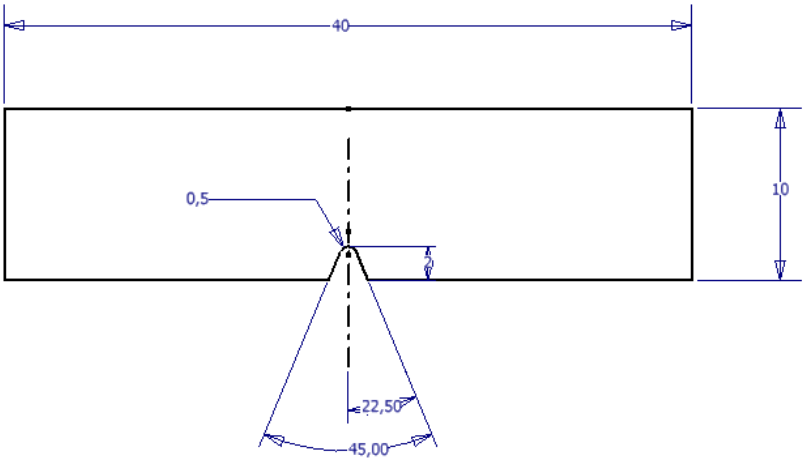
Obr. 8.1 Charpyho kladivo

Rázová zkouška ohybem

Zkušební vzorek je hranol se čtvercovým průřezem, který má uprostřed vrub ve tvaru U nebo V.

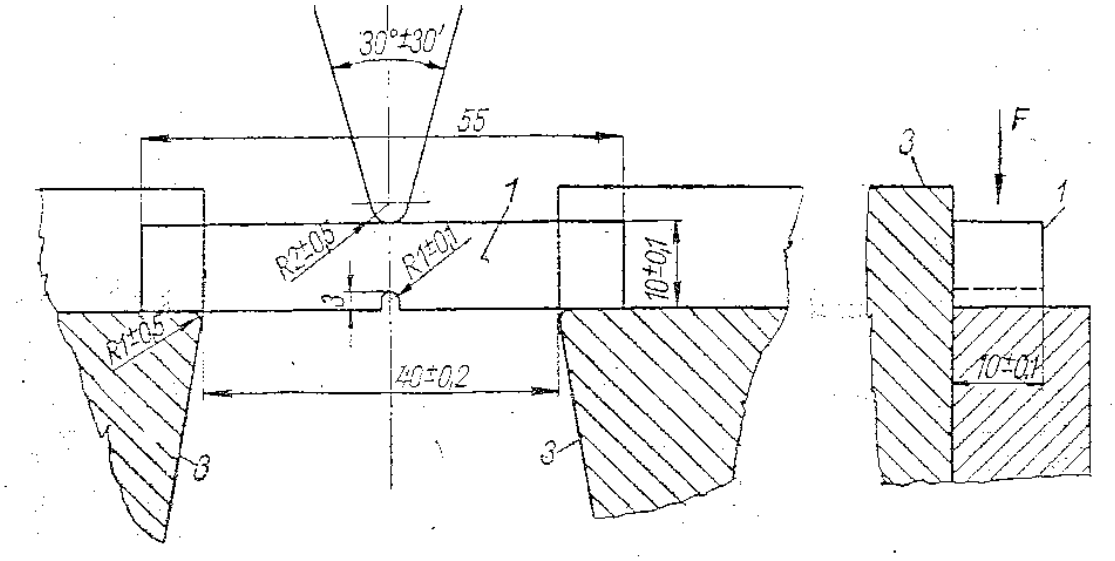


Obr. 8.2 Zkušební vzorek s U vrubem



Obr. 8.3 Zkušební vzorek s V vrubem

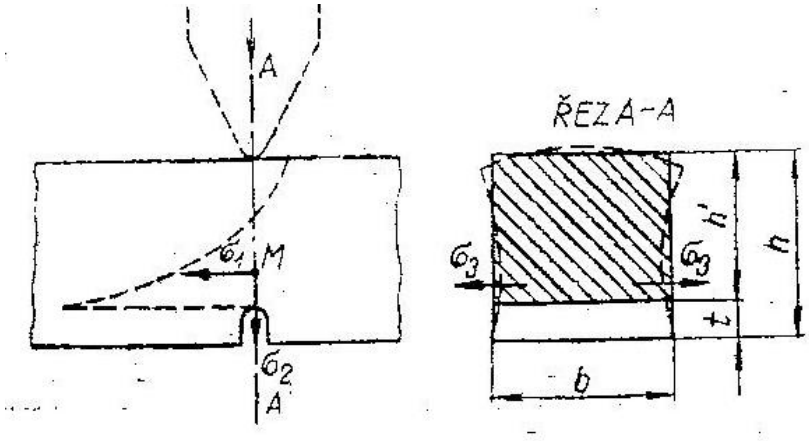
Zkušební vzorek se umístí v nejnižší poloze kladiva na dvě podpěry tak, aby vrub byl na odvrácené straně než břit kladiva:



Obr. 8.4 Uložení vzorku při zkoušce

Rázová zkouška ohybem

Kladivo se zdvihne do horní počáteční polohy a zajistí se západkou. Po uvolnění západky se kladivo pohybuje po kruhové dráze. V nejnižší poloze, kdy kladivo má největší kinetickou energii, narazí na zkušební vzorek, ten přerazí a překývne do konečné polohy. Čím menší je úhel překyvu, tím větší je množství spotřebované práce potřebné na přeražení vzorku a tím větší je houževnatost materiálu.



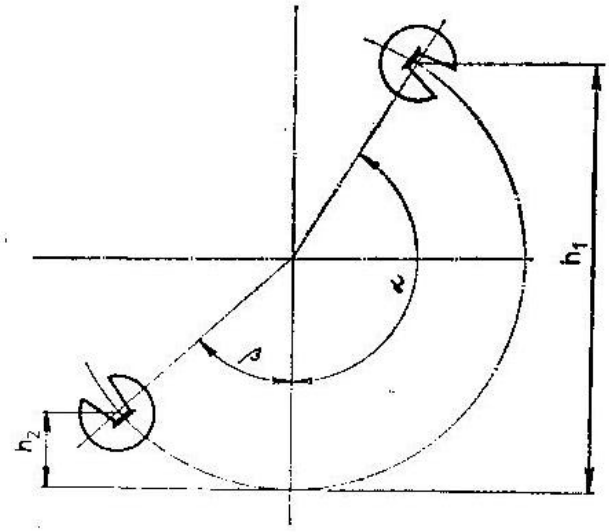
Obr. 8.5 Průběh napětí v místě vrubu v okamžiku rázu

8.2 Vyhodnocení zkoušky

1. **Spotřebovaná nárazová práce K:**

$$K = G\,.\,(h1 - h2) = m.g\,.\,(h1 - h2) \quad (J) \qquad (27)$$

m – hmotnost kladiva	(kg)
g – gravitační zrychlení	(m . s^{-2})
h_1 – poloha kladiva vůči zkušební tyči před zkouškou	(m)
h_2 - poloha kladiva vůči zkušební tyči po zkoušce	(m)



Obr. 8.6 Poloha kladiva před a po zkoušce

Rázová zkouška ohybem

2. Vrubová houževnatost:

Vlastní mechanická vlastnost – houževnatost, se kvantifikuje parametrem, který se nazývá **vrubová houževnatost KC**. Vypočítá se ze vztahu:

$$KC = \frac{K}{S_0} \qquad (J/mm^2) \qquad (28)$$

K – nárazová práce (J)
S_0 – průřez tyče v místě vrubu (mm^2)

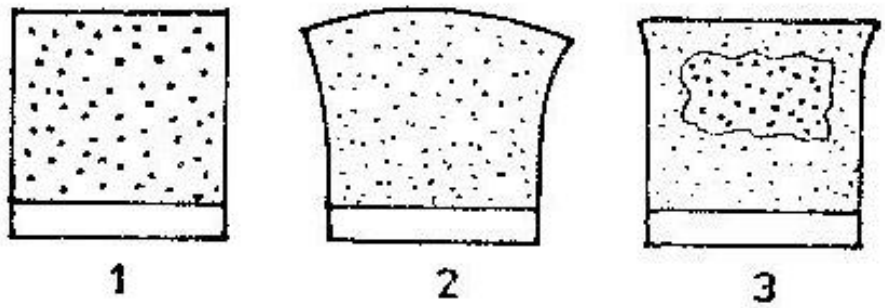
Základní označení KC se doplňuje označením tvaru vrubu (U nebo V) a hloubkou vrubu. Příklad označení:

KCU 2 - označení pro vzorek s vrubem U a hloubkou 2 mm

3. Typy lomů:

Kromě vrubové houževnatosti hodnotíme zkoušku podle vzhledu a charakteru lomové plochy. Rozlišujeme tyto typy lomů:

1. Tvárný lom: lomová plocha je matná a nerovná s výraznými hrboly.
2. Smíšený lom: je kombinací tvárného a křehkého lomu.
3. Křehký lom: lomová plocha je lesklá a hladká.



Obr. 8.7 Typy lomů

KONTROLNÍ OTÁZKY

1. Co je to dynamická zkouška?
2. Jakou mechanickou vlastnost zjišťujeme rázovou zkouškou ohybem?
3. Jaký je princip rázové zkoušky ohybem?
4. Jaké se používají tvary vrubů?
5. Jak se vypočítá vrubová houževnatost?
6. Jaké jsou typy lomů?

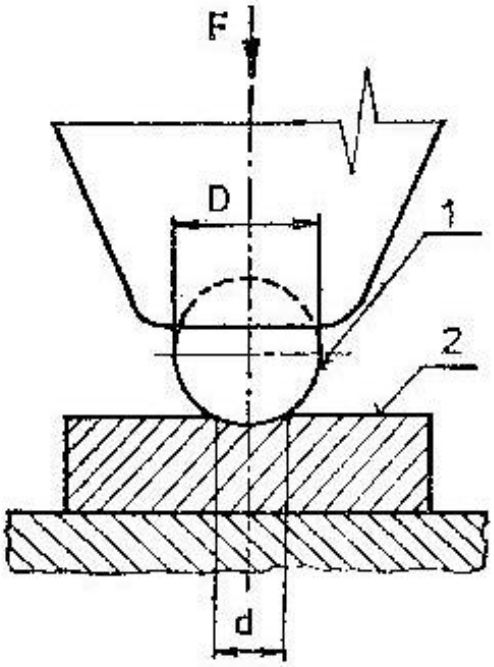
9 Zkoušky tvrdosti

Tvrdost je mechanická vlastnost, kterou definujeme jako odpor proti vnikání cizího tělesa do povrchu materiálu. Tvrdost označujeme písmenem H a dále písmenem, které označuje typ použité metody. Hodnoty se uvádějí bez jednotek. Zkoušky provádíme na jednoúčelových přístrojích, které nazýváme tvrdoměry.

9.1 Zkouška tvrdosti podle Brinella - statická

9.1.1 Podstata zkoušky

Do zkoušeného materiálu se vtlačuje kulička normalizovaného průměru, předepsanou rovnoměrně vzrůstající silou a předepsanou rychlostí. Kulička je z tvrdé kalené oceli. Mírou tvrdosti je u této metody plocha vtisku vytlačené kuličkou nebo průměr vtisku. V praxi se určuje tvrdost podle tabulek pro daný průměr kuličky, zatížení a změřený průměr vtisku.



Obr. 9.1 Princip Brinellovy zkoušky tvrdosti

9.1.2 Postup provedení zkoušky:

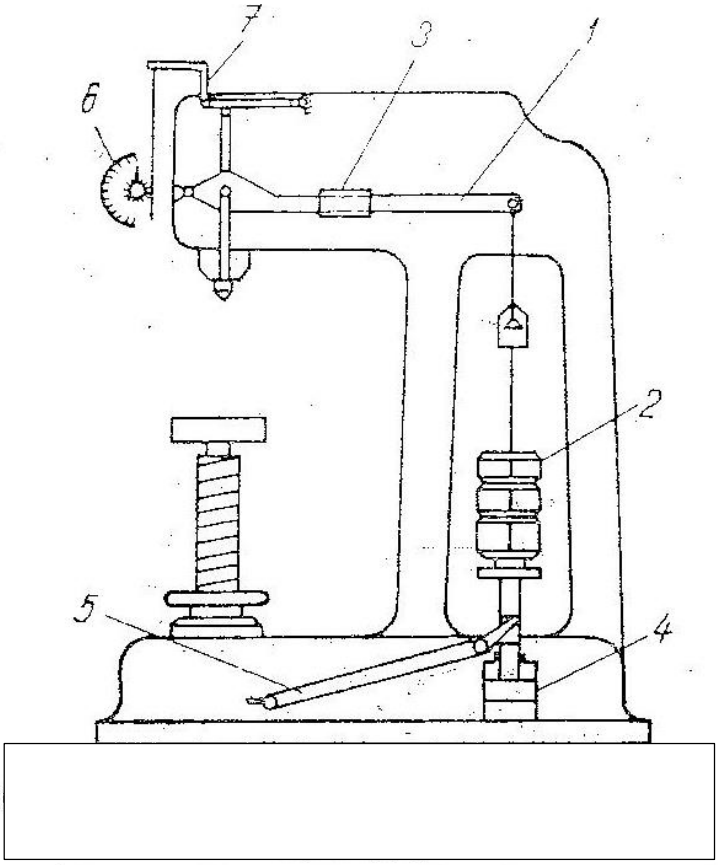
Zkouška se provádí na Brinellově tvrdoměru nebo modifikovaně na Rockwellově tvrdoměru. Tento popis bude právě pro modifikované měření na Rockwellově tvrdoměru.

- U zkoušeného materiálu vybrousíme rovnou a hladkou plochu.
- Materiál položíme na pracovní stůl tvrdoměru tak, aby byl zkoušený povrch kolmý na směr zatěžující síly.

Zkoušky tvrdosti

- Pomocí závaží nastavíme celkové zatížení 1875 N.
- Pomocí převlečné matice upneme zkušební vtlačovací tělísko, což je kalená kulička o průměru 2,5 mm.
- Pomocí šroubového mechanizmu provedeme předběžné zatížení tak, že otáčením kola pohybujeme stolkem proti tělísku. Pohyb ukončíme tehdy, když velká ručička bude v nejvyšším místě na kruhové stupnici a malá ručička na červené tečce.
- Odjistíme páku na ovládání závaží a provedeme přes pákový mechanizmus vtlačení o hodnotě hlavního zatížení. Po zastavení ručiček se zajistí páka do původní polohy.
- Pomocí tabulek se z počtu dílků, které ukazuje velká ručička, určí přímo hodnota tvrdosti podle Brinella a také hodnota meze pevnosti v tahu.
- Zjištěná hodnota tvrdosti se označí značkou HB, připíše se průměr kuličky a použité zatížení.

Příklad zápisu: kulička o průměru 2,5 mm, zatěžující síla 1875 N
HB 2,5 / 1875 = 75



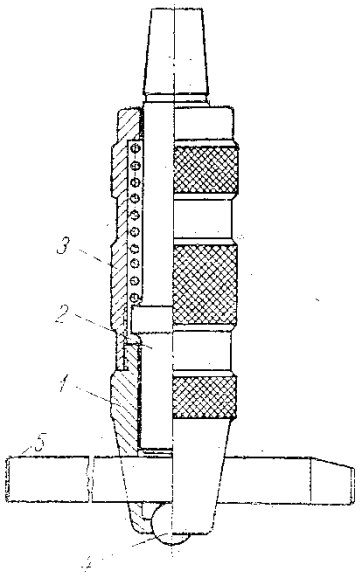
1 — páka zatěžovacího zařízení, 2 — závaží, 3 — pomocné závaží, 4 — katarakt, 5 — spouštěcí páka, 6 — hloubkoměr

Obr. 9.2 Rockwellův tvrdoměr

9.2 Zkouška tvrdosti podle Brinella – dynamická

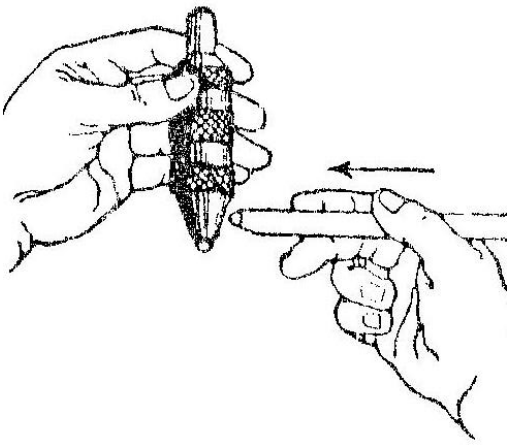
9.2.1 Podstata zkoušky

U dynamické zkoušky vniká vtlačovací tělísko do materiálu **rázem**. Zkouška se provádí pomocí ručního tvrdoměru zvaného Poldi tvrdoměr. Je to malý přenosný přístroj, pomocí kterého lze určit Brinellovu tvrdost.

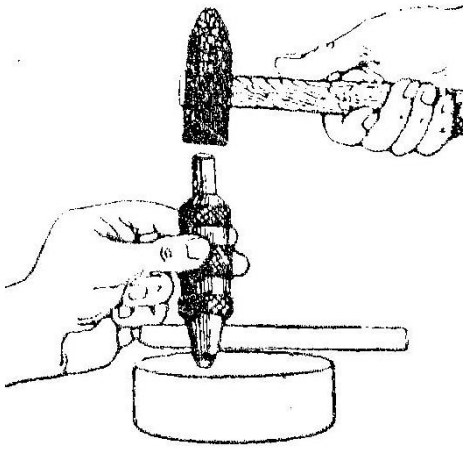


Obr. 9.3 Ruční tvrdoměr Poldi

Mezi úderník a kuličku vložíme porovnávací tyčku, která má známou tvrdost a pevnost. Úderem kladívka na úderník se vytvoří vtisk ve zkoušeném materiálu i v porovnávací tyčince. Oba průměry vtisků se změří lupou s měřítkem nebo lépe pomocí ručního mikroskopu s přesností na desetiny milimetru. Potom z poměru obou průměrů se z tabulek, které jsou součástí tvrdoměru, určí Brinellova tvrdost a pevnost materiálu.



Obr. 9.4 Vložení porovnávací tyčinky



Obr. 9.5 Vyvození rázové síly

9.3 Zkouška tvrdosti podle Rockwella

9.3.1 Podstata zkoušky

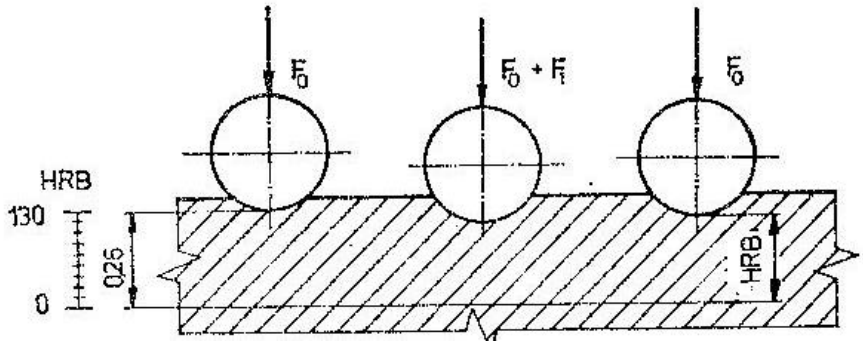
U této zkoušky je mírou tvrdosti **hloubka vtisku**. Do zkoušeného materiálu se vtlačuje buď diamantový kužel s vrcholovým úhlem 120^0, nebo kalená kulička o průměru 1,587 mm (1/16 palce). Zkouška se provádí na Rockwellově tvrdoměru, kde hloubka vtisku se měří stejně jako u číselníkového úchylkoměru. Kruhová stupnice je ovšem přímo cejchována v hodnotách tvrdosti HRB nebo HRC. Podle ČSN rozdělujeme tři zkoušky tvrdosti podle Rockwella:

9.3.1.1 Metoda HRA

Používá se pro křehké materiály a tenké povrchové vrstvy. Vtlačovacím tělískem je diamantový kužel a celkové zatížení je 600 N.

9.3.1.2 Metoda HRB

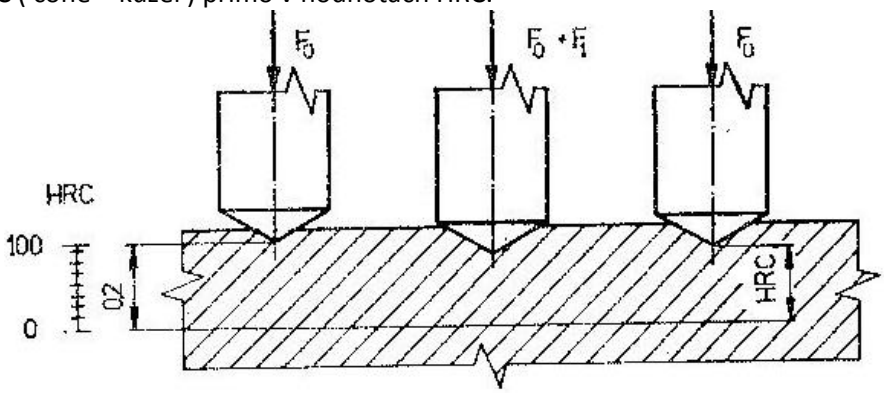
Používá se pro materiály střední tvrdosti (běžné konstrukční oceli). Vtlačovacím tělískem je kalená ocelová kulička o průměru 1/16 palce a celkové zatížení je 1000 N. Hodnota se čte na vnitřní červené stupnici označená písmenem B (ball – koule) přímo v hodnotách HRB.



Obr. 9.6 Princip metody HRB

9.3.1.3 Metoda HRC

Používá se pro tvrdé materiály (kalené oceli, nástrojové oceli). Vtlačovacím tělískem je diamantový kužel a celkové zatížení je 1500 N. Hodnota se čte na vnější černé stupnici označená písmenem C (cone – kužel) přímo v hodnotách HRC.



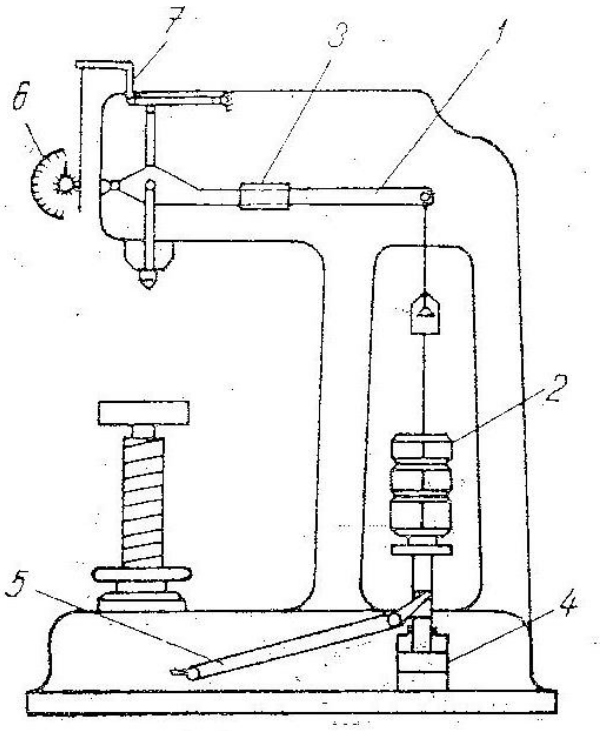
Obr. 9.7 Princip metody HRC

Zkoušky tvrdosti

9.3.2 Popis zkoušky

Zkouška se provádí na Rockwellově tvrdoměru.

- U zkoušeného materiálu vybrousíme rovnou a hladkou plochu.
- Materiál položíme na pracovní stůl tvrdoměru tak, aby byl zkoušený povrch kolmý na směr zatěžující síly.
- Pomocí závaží nastavíme celkové zatížení 1000 N pro metodu HRB (1500 N pro metodu HRC).
- Pomocí převlečné matice upneme zkušební vtlačovací tělísko, což je pro metodu HRB kalená kulička o průměru 1/16 palce (diamantový kužel pro metodu HRC).
- Pomocí šroubového mechanizmu provedeme předběžné zatížení tak, že otáčením kola pohybujeme stolkem proti tělísku. Pohyb ukončíme tehdy, když velká ručička bude v nejvyšším místě na kruhové stupnici a malá ručička na červené tečce.
- Odjistíme páku na ovládání závaží a provedeme přes pákový mechanizmus vtlačení o hodnotě hlavního zatížení. Po zastavení ručiček se zajistí páka do původní polohy.
- Na kruhové stupnici čteme přímo tvrdost v rockwellových jednotkách. Pro metodu HRB na vnitřní červené stupnici, která je označena písmenem B, pro metodu HRC na vnější černé stupnici, která je označena písmenem C.



Obr.9.8 Schéma Rockwellova tvrdoměru

Obr. 9.9 Rockwellův tvrdoměr

9.4 Zkouška tvrdosti podle Vickerse

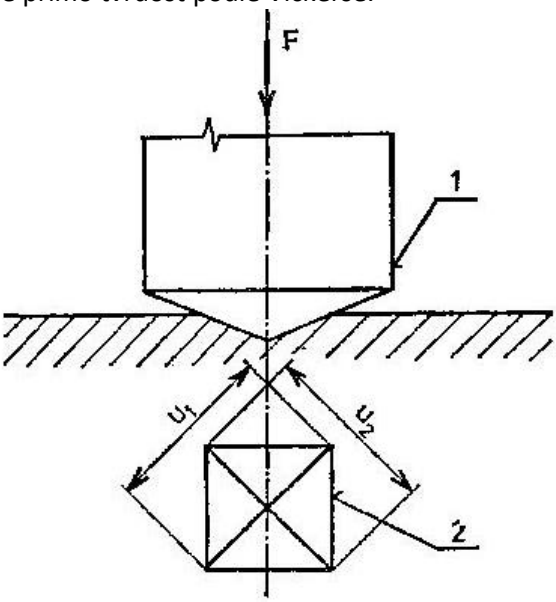
9.4.1 Podstata zkoušky

U této zkoušky je mírou tvrdosti střední **délka úhlopříček** čtvercového vtisku. Do zkoušeného materiálu se vtlačuje diamantový jehlan se čtvercovou základnou o vrcholovém úhlu 136^0. Zatěžující síla bývá od 10 N do 1000 N. Zkouška se provádí na Vickersově tvrdoměru. Zatěžovací síla se vyvozuje ručně pomocí páky. Velikost síly se nastavuje pomocí vymezovacích narážek. Pak úplné stlačení pružiny po narážku představuje jistou velikost síly. U přenosného tvrdoměru Poldi – Vickers, to může být síla 100 N nebo 300 N po dobu 30 sekund. Součástí tvrdoměru je mikroskop, pomocí kterého lze odměřovat délky obou úhlopříček vtisku s přesností na jednu tisícínu milimetru. Ze střední délky úhlopříček lze zjistit tvrdost podle Vickerse HV ze vztahu:

$$HV = \frac{F}{S} = \frac{2F \,.\, \cos 22^0}{u^2} \qquad (29)$$

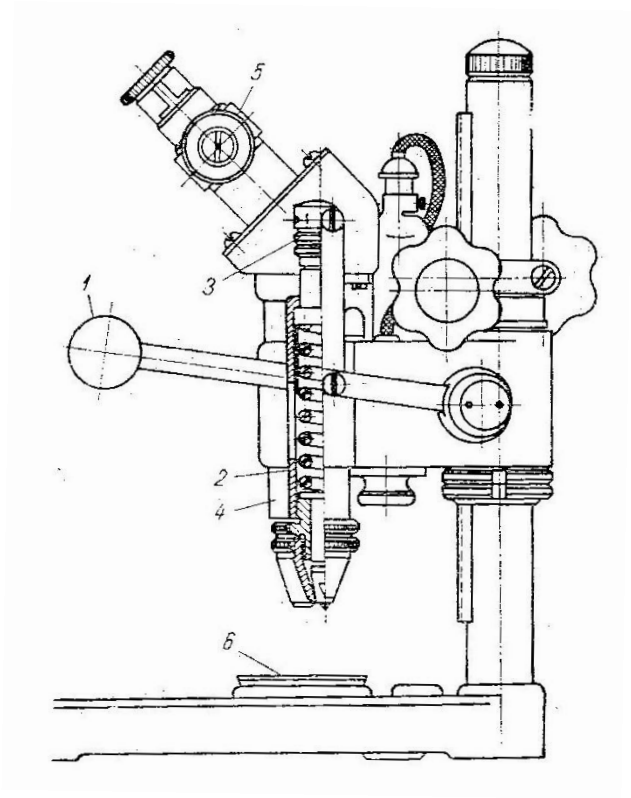
HV	-	tvrdost podle Vickerse (bezrozměrné číslo)
F	-	zatěžující síla (N)
S	-	povrch vtisku (mm^2)
u	-	aritmetický průměr délek obou úhlopříček (mm)

Pro praktickou potřebu používáme tabulek, ve kterých podle aritmetického průměru úhlopříček vtisku a použité síly najdeme přímo tvrdost podle Vickerse.



Obr. 9.10 Princip Vickersovy zkoušky tvrdosti

Touto metodou lze měřit velmi přesně měkké i tvrdé materiály, malé i tenké předměty, kalené, cementované, nitridované vrstvy apod., neboť lze použít malé zatěžovací síly a vpich je velmi malý.



Obr. 9.11 Tvrdoměr Poldi – Vickers

Hlavní část tvrdoměru:

1 – ruční páka k vyvození vtlačovací síly
2 – vodicí tyč
3 – narážka
4 – tubus s vtlačovacím tělískem
5 – mikroskop s okulárem
6 – pracovní stolek

9.4.2 Popis zkoušky

Zkouška se provádí na Vickersově tvrdoměru.

- U zkoušeného materiálu vybrousíme rovnou a hladkou plochu.
- Materiál položíme na pracovní stůl tvrdoměru tak, aby byl zkoušený povrch kolmý na směr zatěžující síly.
- Pomocí ruční páky, kterou stlačíme po narážku, vyvodíme vtlačovací sílu 300 N.
- Sílu necháme působit v materiálu po dobu 30 sekund.
- Po odlehčení pootočíme tubus s mikroskopem do opačné krajní polohy, čímž zajistíme, že mikroskop je přesně nad vpichem.
- Pomocí mikroskopu odečteme délky obou úhlopříček s přesností na tisíciny milimetru.
- Vypočítáme aritmetický průměr z obou úhlopříček.
- Z tabulek přiřadíme podle vypočítaného průměru tvrdost podle Vickerse.

Zkoušky tvrdosti

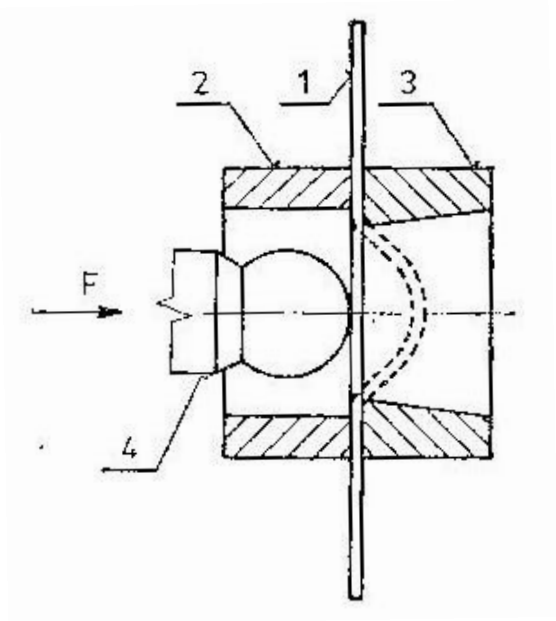
KONTROLNÍ OTÁZKY

1. Co je to tvrdost?
2. Co je mírou tvrdosti u Brinellovy tvrdosti?
3. Jak se zjistí tvrdost pomocí Poldi tvrdoměru?
4. Co je mírou tvrdosti u Rockwellovy tvrdosti?
5. U metod HRA, HRB a HRC definujte hlavní zatížení a vtlačovací tělísko.
6. Co je mírou tvrdosti u Vickersovy tvrdosti?
7. Definujte u Vickersovy metody zatížení a vtlačovací tělísko.

10 Zkouška hlubokotažnosti plechů podle Erichsena

10.1 Podstata zkoušky

Zkouška se používá pro plechy od tloušťky 0,1 mm do 2 mm, které jsou určeny pro hluboké tváření za studena. Zkouškou se zjišťuje, jestli je materiál způsobilý pro hluboké tažení a to tak, že se zjistí **velikost prohloubení**, což je dráha, kterou vykoná kulový razník ve zkušebním přípravku z nulové polohy do polohy, v níž nastane natržení plechu.

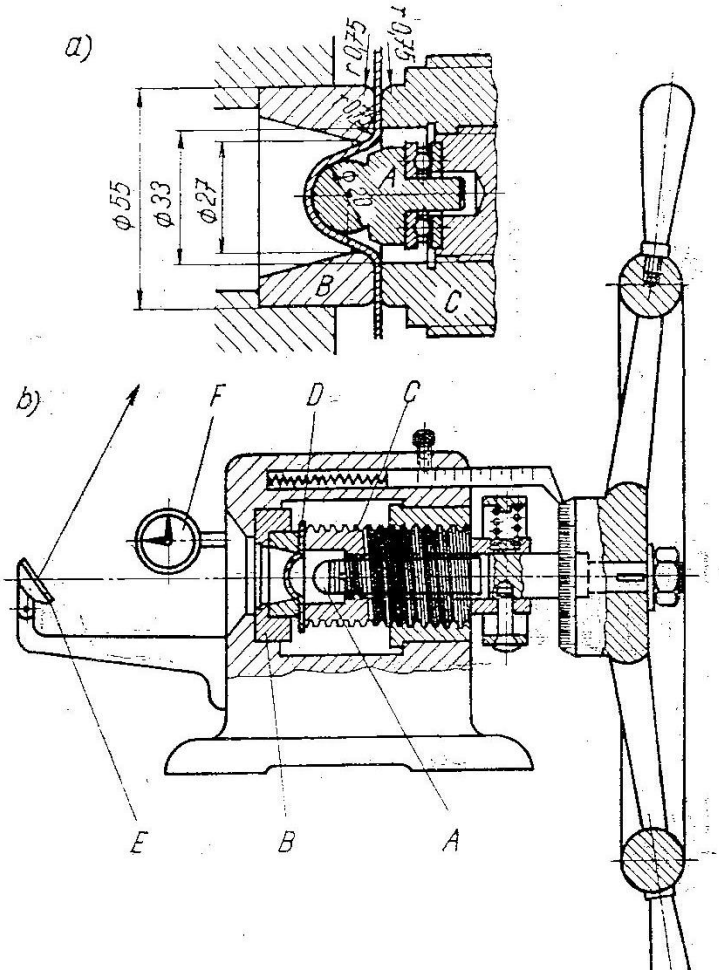


Obr. 10.1 Princip zkoušky podle Erichsena

1 – zkoušený plech
2 – přidržovač
3 – raznice
4 – kulový razník

Zkouška se provádí pomocí Erichsenova přípravku. Zkoušený plech se v přípravku upne pomocí přidržovače. Kulový razník se do plechu vtlačuje pomocí šroubového mechanizmu stejnou rychlostí 5 mm/min až do okamžiku, kdy se na vnější straně plechu objeví trhlina. Toto prodloužení se odečítá na kruhové stupnici s přesností na setiny milimetru.

Zkouška hlubokotažnosti plechů podle Erichsena



Obr. 10.2 Schéma Erichsenova přípravku

Hlavní části:

A – kalený kulový razník
B – raznice
C – přidržovač
D – zkoušený plech
E – zrcátko
F – siloměr

10.2 Popis zkoušky

Zkouška se provádí na Erichsenově přípravku.

- Před zkouškou se vnitřní strana kontrolovaného plechu lehce potře grafitovým tukem.
- Pomocí přidržovače upneme plech do přípravku.
- V nulové poloze se razník musí dotýkat vnitřní plochy plechového vzorku.
- Otáčením kola vtlačujeme pomocí šroubového mechanizmu razník do plechu rychlostí 5 mm za minutu.
- Vtlačování ukončíme v okamžiku, kdy vznikne viditelná trhlina na vnější straně plechu.

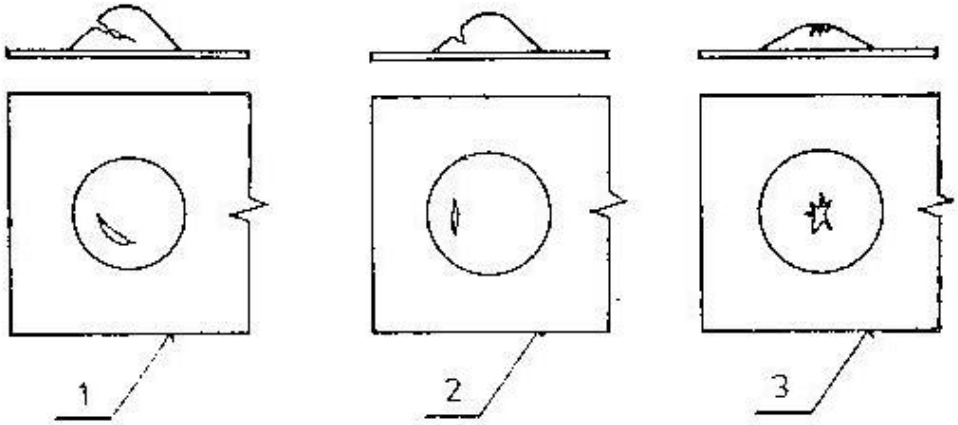
Zkouška hlubokotažnosti plechů podle Erichsena

- Hloubka vtlačení se odečítá na kruhové stupnici s přesností na setiny milimetru.
- Označení výsledku zkoušky:

  h – 15/21 = 12,26 mm
  (Zápis znamená, že prohloubení je 12,26 mm, razníkem o průměru 15 mm, raznice má průměr 21 mm.)

10.3 Tvar trhlin

Vhodnost materiálu k hlubokému tažení lze také posoudit podle tvaru trhlin.



Obr. 10.3 Tvary trhlin

plech 1 – materiál vhodný k hlubokému tažení
plech 2 - materiál málo vhodný k hlubokému tažení
plech 3 - materiál nevhodný k hlubokému tažení

KONTROLNÍ OTÁZKY

1. Jaký je princip zjišťování hlubokotažnosti plechů podle Erichsena?
2. Jak se postupuje u zkoušky hlubokotažnosti plechů podle Erichsena?

11 Zdroje obrázků

[1] Obr. 1.1: [online]. [cit.20.11.2012]. Dostupný na : http://pixabay.com/cs/hamburk-p%C5%99%C3%ADstavn%C3%AD-m%C4%9Bsto-most-55267/

[2] Obr. 1.2: [online]. [cit.20.11.2012]. Dostupný na : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7f/Manual_synchronized_gearbox.jpg

[3] Obr. 1.3: [online]. [cit.20.11.2012]. Dostupný na : http://www.sapphiresaws.co.uk/page7.htm

[4] Obr.1.5: [online]. [cit.20.11.2012]. Dostupný na : http://images.google.com/imgres?q=%C4%8Derpadla&hl=cs&biw=1217&bih=787&tbs=sur:fmc&tbm=isch&tbnid=tmlVqfzc2wjFFM:&imgrefurl=http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Elektrick%25C3%25A9_odst%25C5%2599ediv%25C3%25A9_%25C4%258Derpadlo_ze_strany,_%25C3%259AV_K%25C3%25A1ran%25C3%25BD.jpg&docid=MUUxJfq8bhKVzM&imgurl=http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/31/Elektrick%2525C3%2525A9_odst%2525C5%252599ediv%2525C3%2525A9_%2525C4%25258Derpadlo_ze_strany,_%2525C3%2525259AV_K%2525C3%2525A1ran%2525C3%2525BD.jpg&w=5616&h=3744&ei=0wo3UYfmAoiL4ATtxoHoCA&zoom=1&iact=hc&vpx=817&vpy=166&dur=750&hovh=183&hovw=275&tx=126&ty=102&page=1&tbnh=142&tbnw=215&start=0&ndsp=13&ved=1t:429,r:5,s:0,i:99

[5] Obr. 1.7: [online]. [cit.15.12.2012]. Dostupný na : http://www.anseglobal.com/valves.html

[6] Obr. 1.8: [online]. [cit.15.12.2012]. Dostupný na : http://www.fireplacesuk.org.uk/multi-fuel-stoves-merseyside.htm

[7] Obr. 1.9: [online]. [cit.15.12.2012]. Dostupný na : http://www.castorama.fr/store/Cuivre-recuit--14-mn-couronne-de-25-m-PRDm516766.html

[8] Obr. 1.10: [online]. [cit.15.12.2012]. Dostupný na : http://www.meilleurduchef.com/cgi/mdc/l/fr/boutique/produits/mau-verseuse_cafe_cuivre.html

[9] Obr. 1.11: [online]. [cit.15.12.2012]. Dostupný na : http://www.brassfast.com/bronze_fittings.htm

[10] Obr. 1.12: [online]. [cit.15.12.2012]. Dostupný na : http://www.brascomponents.com/bronze_fittings_copper_fittings.htm

[11] Obr. 1.13: [online]. [cit.15.12.2012]. Dostupný na : http://ffden-2.phys.uaf.edu/104_spring2004.web.dir/Christopher_Peterson/web%20page%20project/page4.htm

[12] Obr. 1.14: [online]. [cit.15.12.2012]. Dostupný na : http://images.google.com/imgres?q=olovo&hl=cs&biw=1217&bih=787&tbs=sur:fmc&tbm=isch&tbnid=362DVJEb3_ITEM:&imgrefurl=http://commons.wikimedia.org/wiki/File:450_Corto_-_LR_-_Fiocchi_-_1.jpg&docid=LiYo0mDNyxqsIM&imgurl=http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/71/450_Corto_-_LR_-_Fiocchi_-_1.jpg&w=1494&h=972&ei=8w03Ua2PC-jl4QSK-

Zdroje obrázků

oDgBQ&zoom=1&iact=rc&dur=187&page=1&tbnh=130&tbnw=200&start=0&ndsp=25&ved=1t:429,r:8,s:0,i:108&tx=100&ty=57

[13] Obr. 1.15: [online]. [cit.15.12.2012]. Dostupný na : http://www.heine-bedachungen.de/dachdetails/traufen.html

[14] Obr. 1.16: [online]. [cit.8.1.2013]. Dostupný na : http://www.topfreebiz.com/product/224472/JStorage-Shelf-JN-31.htm

[15] Obr. 1.17: [online]. [cit.8.1.2013]. Dostupný na : http://www.samanyoluhaber.com/haberleri/Pil

[16] Obr. 1.18: [online]. [cit.8.1.2013]. Dostupný na : http://www.marshu.com/articles/presidents-on-us-united-states-coins.php

[17] Obr. 1.19: [online]. [cit.8.1.2013]. Dostupný na : http://www.dunyaninilkleri.com/ilkler/dunyadaki-ilk-pil.html

[18] Obr. 1.20: [online]. [cit.8.1.2013]. Dostupný na : http://www.prweb.com/releases/DuPont/Photovoltaic/prweb2387094.htm

[19] Obr. 1.21: [online]. [cit.8.1.2013]. Dostupný na : http://www.ecvv.com/product/851415.html

[20] Obr. 1.22: [online]. [cit.8.1.2013]. Dostupný na : http://hosted.verticalresponse.com/394897/e95830908d/1714500491/886b4deb98/

[21] Obr. 1.23: [online]. [cit.8.1.2013]. Dostupný na : http://www.extrusions-aluminium.co.uk/Aluminium-Extrusions.html

[22] Obr. 1.24: [online]. [cit.8.1.2013]. Dostupný na : http://www.hepcomotion.com/en/lopro-aluminium-based-slide-system-pg-14-get-7

[23] Obr. 1.25: [online]. [cit.25.2.2013]. Dostupný na : http://goldenpegasus.en.made-in-china.com/offer/wqyJfMrVJQYa/Sell-Black-Chrome-Aluminum-Alloy-Wheel-amp-Rim.html

[24] Obr. 1.26: [online]. [cit.25.2.2013]. Dostupný na : http://auto.pravda.sk/magazin/clanok/5537-mercedes-predstavil-novy-bicykel/

[25] Obr. 1.27: [online]. [cit.25.2.2013]. Dostupný na : http://www.silit.com/durado_688/frying-pan-deep-28cm-durado_4267.html

[26] Obr. 1.28: [online]. [cit.25.2.2013]. Dostupný na : http://forums.watchuseek.com/f2/who-knows-any-watches-made-out-titanium-389513-5.html

[27] Obr. 1.29: [online]. [cit.25.2.2013]. Dostupný na : http://www.ehow.com/how_7225982_winterize-boat-i_o-engine.html

[28] Obr. 1.30: [online]. [cit.25.2.2013]. Dostupný na : http://yrautoparts.en.alibaba.com/product/370510866-210552528/FRONT_BUMPER_SUZUKI_SX4_5D_07_ON_.html

[29] Obr. 1.31: [online]. [cit.25.2.2013]. Dostupný na : http://www.bmwarchiv.de/foto/470-60-bmw-m3-coupe-armaturenbrett.html

[30] Obr. 1.32: [online]. [cit.25.2.2013]. Dostupný na : http://www.holz-pflege.de/pflege-von-holzarmaturen-im-auto.html

[31] Obr. 1.33: [online]. [cit.25.2.2013]. Dostupný na : http://kosice.olx.sk/dp-work-kosice-pila-predaj-stavebneho-dreva-hranoly-dosky-late-palivove-drevo-iid-36940576

Zdroje obrázků

[32] Obr. 1.34: [online]. [cit.25.2.2013]. Dostupný na : http://www.autocar.co.uk/car-review/mini/mini-roadster

[33] Obr. 1.35: [online]. [cit.25.2.2013]. Dostupný na : http://www.fotocommunity.de/pc/pc/display/21912141

[34] Obr. 1.36: [online]. [cit.25.2.2013]. Dostupný na : http://www.coverallstone.com/basalt-paving/basalt-slabs-and-pavers/

[35] Obr. 1.37: [online]. [cit.8.3.2013]. Dostupný na : http://www.photo-dictionary.com/phrase/9096/gray-basalt-stone.html

[36] Obr. 1.38: [online]. [cit.8.3.2013]. Dostupný na : http://www.onlinepack.de/270x190x-80-mm-Wickel-Versandverpackung-Karton-OP-02006

[37] Obr. 1.39: [online]. [cit.8.3.2013]. Dostupný na : http://www.furniturechoice.co.uk/Living-Room-Furniture/Sofa-Collections/Oslo-Black-Leather-Sofas_OSLO-SOFA-BL.htm

[38] Obr. 3.5: [online]. [cit.8.3.2013]. Dostupný na : http://staffweb.itsligo.ie/staff/bmulligan/ce1/shear.htm

[39] Obr. 5.4: [online]. [cit.8.3.2013]. Dostupný na : http://www.professionaltesting.co.th/web_page/tensile-test

[40] Obr. 5.6 : [online]. [cit.8.3.2013]. Dostupný na : http://mee-inc.com/tensile-testing.html

[41] Obr. 5.14: [online]. [cit.8.3.2013]. Dostupný na : http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=tensile_test_and_stress-strain_diagram

Poznámka: Všechny použité obrázky byly vyhledány přes filtr nastavený na http://www.cmis.cz/dum/, kdy autoři obrázků povolují použití obrázků pro komerční účely a zároveň povolují obrázky upravovat, přizpůsobovat nebo rozšiřovat.