

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

PEDAGOGICKÁ FAKULTA

KATEDRA FYZIKY

Bakalářská práce

Knihovna JU - PF



3115172533

Autor: Jan Říha

Vedoucí práce: PaedDr. Bedřich Veselý

2006

Vybrané destruktivní zkoušky materiálů

Anotace:

Tato bakalářská práce pojednává o destruktivních zkouškách materiálu. Jsou zde zastoupeny zkoušky statické (tahem, tlakem, ohybem) tak dynamické (vrubová zkouška houževnatosti rázem v ohybu). Šíře a hloubka jednotlivých oblastí měření odpovídá potřebám laboratoře pedagogické fakulty. Vlastní jádro práce tvoří metodický návrh protokolů jednotlivých měření, který je srozumitelný, přehledný a dobře propracovaný. Návod je koncipován podle nejnovějších norem Evropské unie.

Anotation:

This bachelor's degree deals with destructive test of material. There are represented both static tests by trust, pressure, bend and dynamic tests (notched bar impact and bend resistance tests). Amplitude and profundity each domain measurements conform to convenience of the laboratory of teacher's college. The substance of this bachelor's degree creates methodical instruction (the proposal of protocols) each measurements, which is comprehensible, well-arranged and carefully formulated. The instruction is conceived in accordance with european standard.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně a že jsem všechny použité zdroje uvedl v seznamu použité literatury na konci této práce. Zároveň povoluji Katedře fyziky PF JČU v Českých Budějovicích libovolné použití této práce.

V Borku dne 26.4. 2006

Jan Říha



Poděkování:

Tímto bych chtěl poděkovat PaedDr. Bedřichovi Veselému za odborné vedení, připomínky a cenné rady při vypracování bakalářské práce.

Obsah:

<u>Úvod</u>	8
<u>1. Úvod do měření</u>	9
1.1 Význam zkoušek mechanických vlastností materiálů	9
1.2 Chyby měření	9
1.3 Zkušební stroje	11
<u>2. Statická zkouška tahem</u>	14
2.1 Úvod	14
2.2 Napětí	14
2.3 Deformace	15
2.4 Složité namáhání a tahová zkouška	16
2.5 Trhací diagram a vyhodnocení tahové zkoušky	16
2.6 Stanovení smluvní meze pevnosti v tahu	20
2.7 Pracovní diagramy vybraných materiálů	20
2.8 Praktické uplatnění poznatků ze zkoušky tahem	21
2.9 Zkušební tyče pro zkoušku tahem	22
<u>3. Statická zkouška tlakem</u>	24
3.1 Úvod	24
3.2 Teorie tlakové zkoušky	24
3.3 Základní pojmy a principy zkoušky	24
3.4 Provedení zkoušek	25
3.5 Pracovní diagram zkoušky tlakem měkké uhlíkové oceli	25
3.6 Zkušební vzorky (tělesa)	26
<u>4. Statická zkouška ohybem</u>	27
4.1 Úvod	27
4.2 Teorie ohybové zkoušky	27
4.3 Základní pojmy	28
4.4 Zkušební zařízení a provedení zkoušky	29
4.5 Zkušební tyče	30

<u>5. Dynamická zkouška rázem v ohybu</u>	31
5.1 Úvod	31
5.2 Teorie zkoušky rázem v ohybu	31
5.3 Základní pojmy a princip zkoušky	31
5.4 Zkušební zařízení a provedení zkoušky	32
5.5 Zkušební tyče	33
 <u>6. Navržená metodika měření</u>	34
6.1 Protokol o statické zkoušce tahem	34
6.2 Protokol o statické zkoušce tlakem	39
6.3 Protokol o statické zkoušce ohybem	43
6.4 Protokol o dynamické zkoušce vrubové houževnatosti rázem v ohybu ..	47
 <u>Závěr</u>	51
<u>Seznam použité literatury</u>	52

Úvod:

Cílem této bakalářské práce je vypracovat přehledný a srozumitelný text, který bude použitelný jako metodický návod pro postup, destruktivních zkoušek materiálů, zpracování dat a jejich interpretaci v měřicím protokolu.

V praxi patří destruktivní zkoušky k nejzákladnějším zkouškám, které dobře vypovídají o chování daného materiálu. Konstrukterům slouží pro pevnostní výpočty a technologům pro pochopení chování materiálu (ohybání, stříhání...).

1. Úvod do měření

1.1 Význam zkoušek mechanických vlastností materiálů

Účelem mechanických zkoušek materiálů je vyjádřit chování materiálu za působení vnějších sil. Výsledky zkoušek pak slouží jako podklad pro výpočet strojních součástí, pro správnou volbu jejich rozměrů.

Vzhledem k mnoha konstrukčním požadavkům na materiál navrhovaných součástí existuje i velké množství mechanických zkoušek. V některých případech vystačíme se zkouškami zcela jednoduchými, u kterých i vyjádření závislosti mezi posuzovanými veličinami vede k jednoduchým vztahům. V jiných případech je chování materiálu ovlivněno řadou komplexně působících faktorů, takže i zkušební metody jsou komplikované a výpočetní vztahy jsou složité.

U některých vlastností je možno zjistit jednoznačnou spojitost, takže z výsledků jedné zkoušky je možno usoudit i na pravděpodobné chování materiálu při jiné zkoušce. Neexistuje však žádná univerzální metoda zkoušení, kterou by bylo možno materiál vyčerpávajícím způsobem charakterizovat.

Se stupněm složitosti zkoušky přímo souvisí i potřeba přístrojového vybavení, kvalifikace měřícího pracovníka a časové dotace na provedení zkoušky. V podmínkách výuky pedagogické fakulty tedy není možno provádět složitější zkoušky a ani to není s ohledem na profil absolventa fakulty účelné.

Destruktivní zkoušky materiálů dělíme na:

- a) Statické – užíváme klidného postupně se zvyšujícího zatížení.
- b) Dynamické – zatížení působí v krátkém časovém intervalu.

1.2 Chyby měření

Vlivem nepřesnosti vlastního měřícího zařízení, nedodržením konstantních podmínek, případně i dalšími vlivy vzniká mezi naměřenou a skutečnou hodnotou rozdíl, který označujeme jako chybu měření. Chyby se udávají v jednotkách měřené veličiny nebo se vyjadřují jako relativní chyby.

$$\text{Relativní chyba} = \frac{\text{Skutečná hodnota} - \text{jmenovitá hodnota}}{\text{Jmenovitá hodnota}}$$

Chyby měření se dělí na:

- a) hrubé (omyly)
- b) systematické
- c) náhodné

Chyby hrubé jsou obvykle velké a spočívají v nesprávném provedení měření (nesprávné čtení údajů, vadný přístroj, nesprávná manipulace s měřícím přístrojem apod.) Projevují se jako velké rozdíly v měřených hodnotách a při zpracování výsledku měření tyto hodnoty vylučujeme.

Chyby systematické (soustavné) jsou způsobeny vlivy, které působí stále stejně co do smyslu i velikosti. Je pro ně charakteristické, že jejich velikost může být pro daný případ stanovena. Systematické chyby jsou o s o b n í (zaokrouhlování, paralakční chyba) a věcné, způsobené nepřesnostmi přístrojů.

Chyby náhodné (nahodilé) se odstraňují obtížněji, jejich velikost i smysl se při každém měření mění. Při opakovaném měření téže veličiny se výsledky liší, což je způsobeno vlivy, které nemůžeme vyloučit. Kolísání výsledků však podléhá jisté zákonitosti, kterou objevil Gauss. Výsledky měření při velkém počtu měření jsou rozloženy podle normálního zákona rozdělení (Gaussova). Chyby nemůžeme vyloučit, můžeme však stanovit meze, v kterých leží správná hodnota. Vzdálenost těchto mezí charakterizuje přesnost měření.

Můžeme psát:

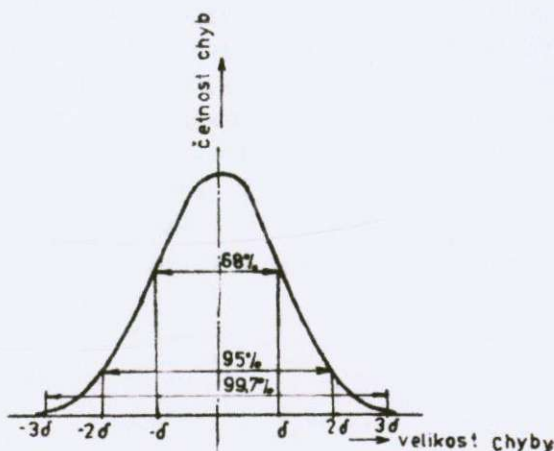
$$x = x_0 + \Delta_s + \Delta_n$$

x	naměřená hodnota
x_0	skutečná hodnota
Δ_s	systematická chyba
Δ_n	náhodná chyba.

Rovnice gaussovy křivky je: $y = y_0 * e^{-h^2 x^2}$

$y_0 = \frac{h}{\sqrt{\pi}}$	největší četnost
$h = \frac{1}{\delta\sqrt{2}}$	míra přesnosti
δ	střední chyba (směrodatná odchylka)

Na vodorovnou osu vynášíme velikost chyb, na svislou osu jejich četnost. Z rozboru křivky vyplývá, že kladné chyby se vyskytují stejně často jako záporné. Čím jsou chyby menší tím se vyskytují častěji



obr. 1 Gaussova křivka rozložení chyb

Při opakovaných měření dostaneme postupně hodnoty $x_1, x_2, \dots, x_n$. Protože chyby kladné i záporné jsou stejně pravděpodobné, bude se správné hodnotě nejvíce blížit aritmetický průměr měření

$$x = \frac{1}{n}(x_1 + x_2 + \dots + x_n)$$

Počítáme jen na takový počet desetinných míst, na kolik bylo měřeno.

Podle Gaussova rozložení chyb se nejpravděpodobněji vyskytne taková chyba ϑ , kdy polovina chyb bude menší a polovina chyb větší než ϑ . Ta chyba se nazývá: Pravděpodobná chyba.

$$\vartheta = \pm \frac{2}{3} \sqrt{\frac{\sum (x_i - x)^2}{n-1}} \quad \text{pro jednotlivá měření}$$

$$\vartheta = \pm \frac{2}{3} \sqrt{\frac{\sum (x_i - x)^2}{n(n-1)}} \quad \text{pro aritmetický průměr}$$

x_i naměřená hodnota

x aritmetický průměr naměřených hodnot

n počet měření

Výraz $\sum (x_i - x)^2$ značí součet čtverců odchylek. Výsledek měření uvádíme jako aritmetický průměr s připojením pravděpodobné chyby, tedy:

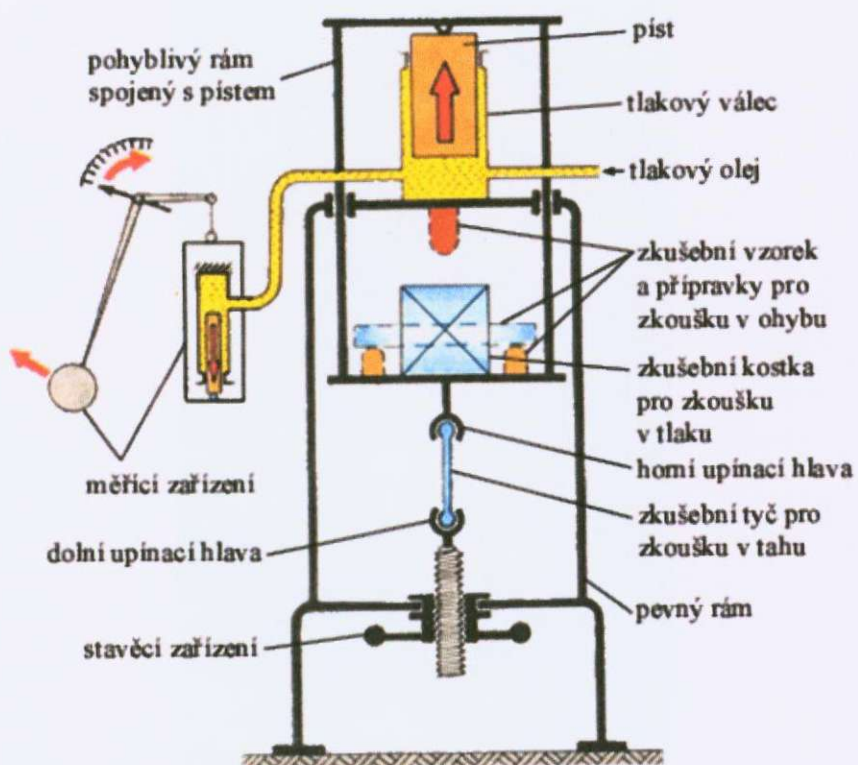
$$x_0 = x \pm \vartheta$$

1.3 Zkušební stroje

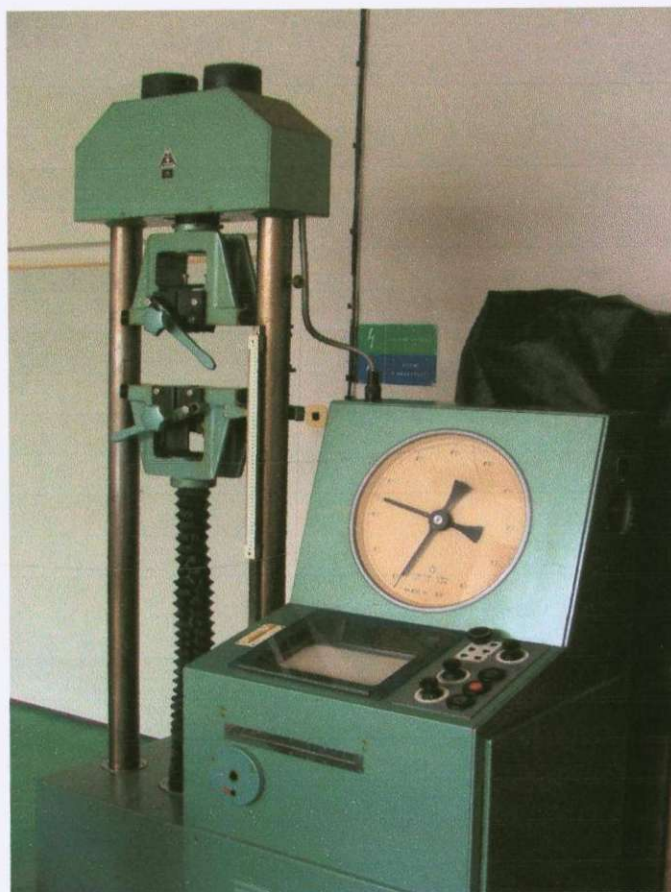
Zkušební stroje jsou buď jednoúčelové (pro jeden druh zkoušek), nebo univerzální (pomocí vhodných přípravků lze provádět různé druhy zkoušek).

Na obr. 2 je schéma univerzálního zkušebního stroje. Skládá se z rámu, upínacího ústrojí, zatěžovacího ústrojí, z měřicího a registračního (na obr. není zakresleno) zařízení. Do tlakového válce se přivádí tlakový olej, tím se zvedá pohyblivý (vnitřní) rám stroje. Zkušební tyče pro zkoušku pevnosti v tahu se upínají do upínacích hlav. Zkouška pevnosti v tlaku se koná na zkušební kostce nebo válečku, položeném na desce pohyblivého rámu. Při zkoušce pevnosti v ohybu se pokládá zkušební vzorek na dvě podpěry a namáhání je vyvozeno ohýbacím trnem připevněným na horní desku pevného rámu. Měřicí zařízení (tzv. kyvadlový manometr) je spojeno potrubím s pracovním prostorem tlakového válce. Tlak působící na píst měřicího tlakového válečku je vyvážen kyvadlem se závažím.

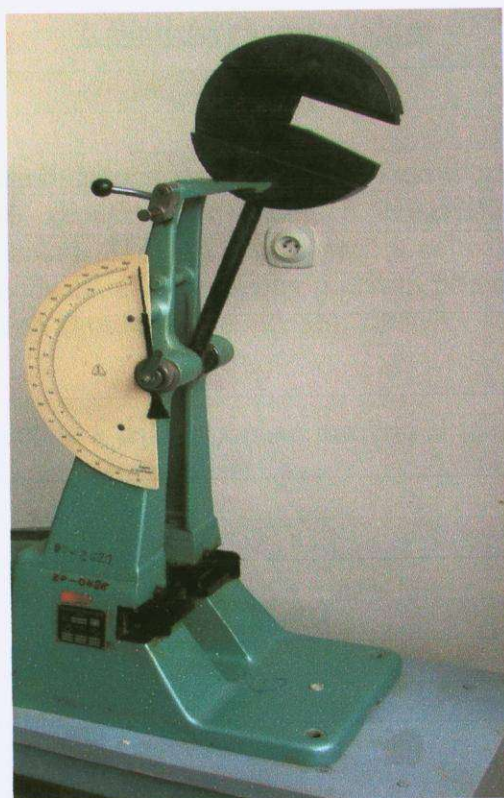
Ručička na ramenu páky kyvadla ukazuje na stupnici měřicího zařízení zatížení v jednotkách síly, tj. v (N).



obr. 2 Schéma univerzálního zkušebního stroje pro zkoušku tahem, tlakem a ohybem



obr. 3 Jednoučelový stroj pro zkoušku tahem



obr. 4 Jednoučelový stroj pro zkoušku vrubové houževnatosti rázem v ohybu
(Charpyho kladivo)

2. Statická zkouška tahem

2.1 Úvod

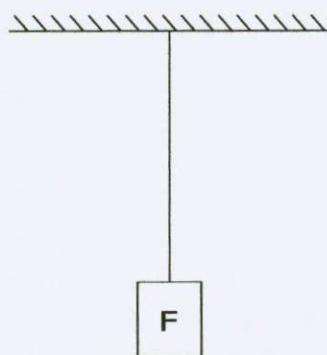
Zkouška tahem je nejstarší laboratorní zkouškou, kterou prováděl již Leonardo da Vinci, avšak soustavné zkoušky konstrukčních materiálů můžeme sledovat až od poloviny minulého století. Zkouška tahem patří k nejrozšířenějším mechanickým zkouškám, neboť je jednoduchá a její výsledky podávají přímo informace o základních mechanických vlastnostech zkoušeného materiálu. Zkoušky se provádějí na tyčích dle normy

ČSN EN 10002-1

Dříve než přistoupíme k jejímu popisu, musíme si ujasnit dva základní pojmy. Se kterými se budeme při zkoušení setkávat

- a) Napětí
- b) Deformace

2.2 Napětí

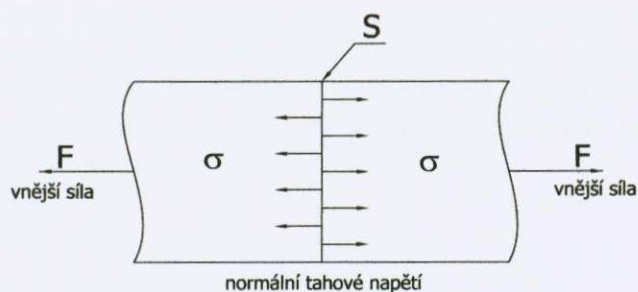


obr. 5 Namáhání na tah

První z nich je napětí. Představme si podle obr. 5, že upevníme na jednom konci drát, třeba na stropě, na druhý konec zavěsíme závaží. Váha závaží působí na každou částku drátu a napíná jej. Kdyby nebyl drát na horním konci pevně uchycen, padal by i se závažím dolů. Uchycení představuje tedy jakousi novou sílu, působící proti závaží a způsobuje, že celá soustava, tvořená uchycením, drátem a závažím je v klidu. Říkáme přitom, že drát je namáhán tahem, a to silou či zatížením odpovídajícím váze závaží.

Představme si dále, že takových drátů upevníme vedle sebe několik, ale o různých průměrech, jinak budou vyrobeny ze stejného materiálu, i závaží na všech budou viset stejná. Pak budou všechny dráty stejně zatíženy. Budeme-li nyní na visící závaží přidávat další, vždy na každý drát stejná, může dojít v určitém okamžiku k přetržení drátu nejmenšího průměru. Vidíme z toho, že i když zatížení všech drátů bylo stejné, nepůsobilo stejným účinkem. Čím větší je průměr drátu, tím více závaží lze na něj zavěsit. Abychom mohli vyjádřit tento jen, zavedli jsme pojem napětí. Je to ve skutečnosti síla, dělená plochou, na níž působí, tedy jednotková síla. V daném případě, kdy drát je namáhán tahem, hovoříme o napětí osovém čili normálním, jež působí na plochu kolmou k působení síly. Matematicky vyjadřujeme normální napětí, jež značíme řeckým písmenem σ (sigma) takto:

$$\sigma = \frac{F}{S} \text{ (MPa)}$$



obr. 6 Rozdělení normálového tahového napětí v příčném řezu tyče

Normální napětí působí vždy kolmo k ploše, v níž je určujeme obr. 6. Působí-li napětí přímo v uvažované ploše, říkáme mu tangenciální či smykové a označujeme je písmenem τ (tau). Obvykle se vyskytují obě napětí společně, ovšem různě velká, máme-li na mysli běžná namáhání strojních součástí.

Vraťme se zpět k příkladu s dráty. Nyní můžeme snadno odvodit, že v drátu s nejmenším průměrem bylo napětí největší a v drátu s průměrem největším zase napětí nejmenší. Zjistili jsme dále, že drát nelze napínat libovolným zatížením, stále se zvětšujícím. Musí tedy být určité mezní napětí, po jehož překročení dojde k porušení materiálu, přetržení drátu. Později zjistíme, že takové mezní napětí nazýváme pevností. Z toho, plyne, že čím větší bude pevnost materiálu, což je již jeho charakteristická vlastnost, tím vyššího napětí musíme dosáhnout k přetržení, to znamená, že tím větší síly bude zapotřebí. Dále již víme, že čím větší průměr, tím větší síla musí působit.

Jestliže tyto poznatky uplatníme při výrobě součástí, usoudíme, že má-li jedna součást být pevnější než druhá, musí být při nezměněných rozměrech použito pevnějšího materiálu, nebo při použití stejného materiálu je třeba zvětšit rozměr součásti. V prvním případě zůstává tedy napětí v součásti stejné, v druhém případě je záměrně snižujeme. Uvidíme, že i při takové zkoušce musíme volit buď různý rozsah síly na stroji, abychom mohli přetrhnout zkušební tyč, nebo při předem dané nejvyšší dosažitelné síle zmenšit průměr zkušební tyče.

Tím, že se ve zkušebnictví stejně jako v nauce o pružnosti a pevnosti zavádí pojem napětí, a to i pro výsledky zkoušek, nemusíme brát v úvahu okolnost, že zkoušky byly vykonány na vzorcích různých rozměrů, různými stroji a v různých laboratořích.

2.3 Deformace

Druhý základní pojem, který musíme blíže vysvětlit, je deformace.

Deformace rozeznáváme:

- a) deformace pružná (elastická)
- b) deformace trvalá (plastická)
- c) deformace celková (je součtem pružné a trvalé deformace)
- d) deformace poměrná (je deformace vztažená k počáteční hodnotě)

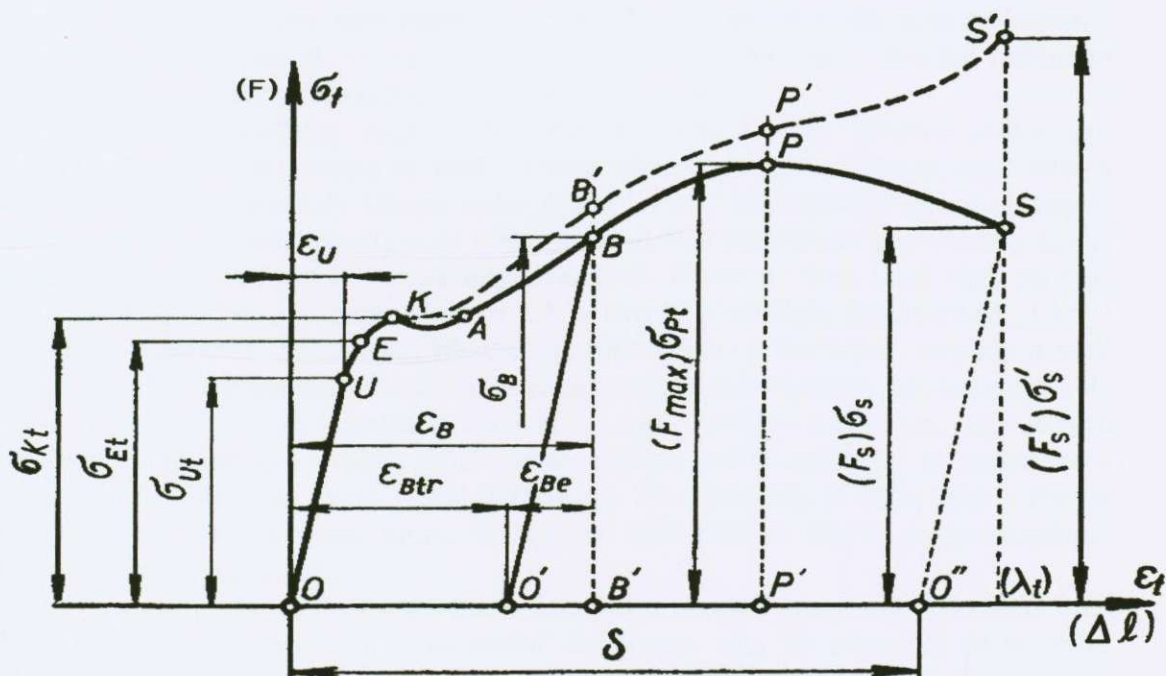
Každé těleso, na něž působíme jakýmkoliv silami, jež mají za následek vznik napětí, mění svůj tvar. Říkáme, že se deformuje, přetváří. Buď se protahuje, nebo stlačuje, nebo ztrácí pravouhlost, nastává zkosení. První dva příklady nastávají obvykle působením normálových napětí, druhý příklad působením napětí smykových. Mechanismus přetváření (deformací) je dosti složitý a nebudeme jej dále rozebírat. Pro naši potřebu postačí, když si zapamatujeme, že až do určitého napětí mohou být deformace pouze pružné (elastické), po jeho překročení trvalé (plastické). Nutno si dále uvědomit, že za působení síly, čili pod zatížením, jež způsobuje vznik trvalých deformací, vznikají

stále ještě i deformace pružné. Musíme proto uvažovat celkovou deformaci, složenou z deformace pružné a plastické. Teprve úplným odlehčením mizí pružné deformace a zůstávají pouze trvalé. Dále si musíme zapamatovat, že při zkoušení uvažujeme ponejvíce deformace poměrné, což značí, že je vztahujeme, vždy na nějakou počáteční hodnotu, např. délku, průměr.

2.4 Složitě namáhání a tahová zkouška

Nyní se teprve můžeme vrátit k tahové zkoušce, ale ještě s malou odbočkou. Kdybychom zjišťovali namáhání konstrukcí, strojních zařízení a jednotlivých součástí, dospěli bychom k poznatku, že jen velmi malá část z nich je namáhána na tah. Např. i lano, které se na první pohled zdá namáháno jen na tah, je ve skutečnosti namáháno složitě tím, že je spleteno z velkého počtu drátů, které jsou namáhány při provozu vlastně ohybem, popřípadě krutem. I lano jako celek je namáháno ohybem, přechází-li přes kladku. Většina součástí je namáhána velmi složitým způsobem. Přesto však při výpočtech jejich rozměrů se tato složitá namáhání převádějí postupně na napětí základní, tj. normálné, popř. tangenciální. Většinou se převádějí na tzv. redukované napětí normálné. A to jsou právě napětí, určovaná při zkoušce tahem. I když tedy zdánlivě namáhání při zkoušce tahem neodpovídá provoznímu zatížení součástí, přesto podává zkouška tahem důležité informace o chování materiálu a jeho použitelnosti pro zamýšlenou konstrukci. Proto je tahová zkouška tak rozšířena a dosud se jí velmi používá, i když dnes možnosti zkoušek za složitých namáhání jsou podstatně větší, než tomu bylo dříve. K širokému použití tahové zkoušky přispívá navíc její jednoduchost, spolehlivost a dále okolnost, že se při ní zjistí i další charakteristické vlastnosti materiálu.

2.5 Trhací diagram a vyhodnocení tahové zkoušky



obr. 7 Diagram průběhu tahové zkoušky

Podstata tahové zkoušky zaleží na tom, že zkušební tyč předepsaných rozměrů se upne oběma konci do čelistí trhacího stroje a napíná se postupně zvětšujícím zatížením, dokud se nepřetrhne. Při tom se určují některá mezná napětí a velikost plastické deformace. Protože při zkoušce dojde k přetržení tyče, nazývá se také někdy trhací zkouškou. Jak se chová materiál při takové zkoušce, nejlépe vysvětlíme podle obr. 7, který platí pro nízkouhlikovou ocel. Na obr. 7 je zakreslen tzv. trhací diagram, kterému říkáme také pracovní diagram, bubínkový diagram nebo diagram zkoušky tahem. Vznikne tak, že během zkoušky zachycujeme průběh změn zatížení v závislosti na deformaci, v tomto případě prodloužování. Můžeme jej označit jako diagram „zatížení-prodloužení“. V určitém měřítku pak představuje i závislost „napětí-poměrné prodloužení“, který je někdy výhodnější.

Na diagramu vidíme, že z počátku je závislost (zatížení – prodloužení) znázorněna přímkou. Znamená to ve skutečnosti, že napětí je přímo úměrné deformaci (Hookuv zákon). Teoreticky by měla existovat mez, přesněji mezní napětí, až do kterého by zatížení vyvolalo pouze pružné deformace. Ve skutečnosti tuto mez nedovedeme přesně stanovit, protože běžně používané přístroje nestačí zachytit velmi malé deformace. Vezmeme ale ta prokázané, že tato teoretická mez existuje, je však velmi nízká a nemá praktický význam. Můžeme tedy uvažovat, že již při malých napětích dochází k trvalým deformacím, z čehož vlastně plyne, že celková deformace je úměrná napětí, přičemž podíl obou deformací zůstává stále stejný, i když se obě zvětšují.

V bodě U dosahují pak trvalé deformace určité již měřitelné hodnoty, která bývá např. 0,005 % (tj. při původní délce 100 mm prodloužení o 0,005 mm). Jde ovšem stále ještě o deformaci velmi malou, což prakticky znamená, že tyč se chová, jako kdyby byla deformována skoro jen pružně. Zatížení, odpovídající této deformaci, nazýváme proto zatížením na mezi úměrnosti, příslušné mezní napětí stanovené ze zatížení a průřezu tyče pak mez úměrnosti.

Pokračujeme-li přes bod U dalším zvyšováním zatížení, zjistíme náhle v bodě E, že končí přímková závislost. Po překročení tohoto bobu se začíná čára křivit a deformace jsou větší, než by odpovídalo přírůstku zatížení. Meznímu napětí, jež odpovídá bodu U, říkáme mez pružnosti. Praktický význam jí dosud není přikládán a málokdy se určuje, ačkoli by mohla být vhodnějším a lépe stanovitelným měřítkem pružnému chování materiálu než samotná mez úměrnosti.

Dalším zvyšováním zatížení dojdeme do bodu K, kde zjistíme překvapivé chování materiálu. Deformace se totiž začnou náhle podstatně zvětšovat, aniž stoupá zatížení. To dokonce někdy klesne, nebo začne kolísat. Příslušnému meznímu napětí říkáme mez kluzu (průtažnosti), a to výrazná. Není charakteristická pro všechny kovy, ale jen pro nízkouhlikové a některé legované oceli. Skoro u všech kovů však dochází přibližně při dosažení deformace kolem 0,2 % rovněž k náhlému prodloužování, i když při stoupnutí zatížení. I této mezi říkáme pak mez kluzu (průtažnosti), musíme ji však určit složitějším způsobem. Mez kluzu je jednou z hlavních výpočtových hodnot, podle níž se dimenzují rozměry součástí a na ni se také vztahuje určení tzv. dovolených namáhání. Namáháme-li součást těsně pod mez kluzu, máme zaručeno, že nepraskne a že se na ní nevyskytnou zvlášť velké deformace. Pro informaci je třeba ještě uvést, že po překročení výrazné meze kluzu zvyšuje se opět zatížení teprve po prodloužení, daném hodnotou u oceli asi 2 až 3%.

Při dalším pokračování zkouška zatížení až do bodu P, po jehož překročení opět klesá. Bod P tedy představuje maximální dosaženou sílu, jíž odpovídá další velmi důležitá hodnota, mez pevnosti, zkráceně pevnost. Mez pevnosti je stejně důležitá jako

mez kluzu, protože i jí se používá jako výpočtové hodnoty. Pro některé výpočty je dokonce vhodnější nežli mez kluzu.

Je nutno si zapamatovat skutečnost, že zkušební tyč při dosažení maximální síly ještě nepraská, pouze se dále deformuje, a to až do bodu S, kdy se teprve přetrhne. Lom nastává tedy až po překročení maximální síly, tj. po dosažení meze pevnosti. To ovšem platí jen pro materiály, které označujeme jako plastické. Křehké materiály, jako šedá litina nebo oceli s vysokou pevností, praskají buď již při dosažení pevnosti, nebo těsně po jejím překročení.

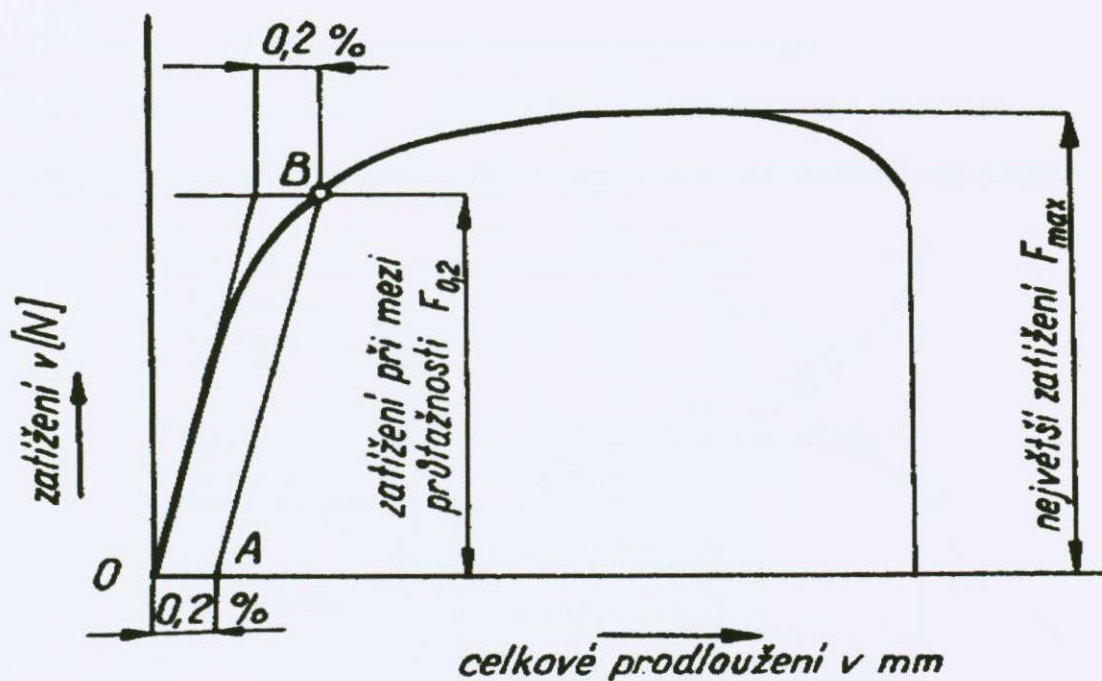
Překvapující jev, totiž pokles zatížení do dosažení pevnosti se snadno vysvětlí, všimneme-li si chování zkušební tyče v tomto okamžiku. Zatímco se tyč až do bodu P pouze prodlužovala, začne se v tomto bodě náhle v jednom místě, obvykle uprostřed, zaškrcovat. K vytvoření napětí v menším průřezu není zapotřebí tak velkého zatížení, které klesá. Přitom nesmíme zapomenout, že všechna mezná napětí, jež jsme poznali, jsou napětími smluvními, jsou vztažena na počáteční průřez, nikoli na okamžitý, který se během zkoušky mění. Jak vypadají skutečná mezní napětí vidíme na obr., kde znázorněno čárkovanou čarou.

Přetržením zkušební tyče sice končí zkouška, nikoli však její vyhodnocení. Poznali jsme již, že se tyč prodloužila a zmenšili její průřez. Změřením prodloužení a zmenšeného průměru dostaneme podklad pro výpočet tzv. tažnosti (poměrné prodloužení) a kontrakce (poměrného zužení).

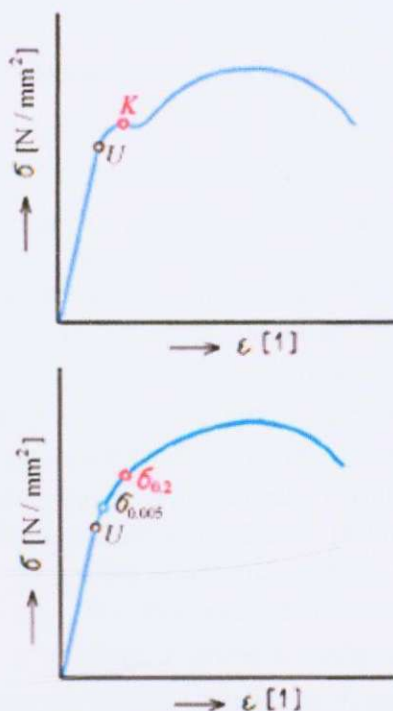
$$\text{Tažnost: } \delta = \frac{l - l_0}{l_0} * 100 (\%)$$

$$\text{Kontrakce: } \psi = \frac{S_0 - S}{S_0} * 100 (\%)$$

Obě hodnoty představují další, tentokrát jakousi „plastickou“ charakteristiku zkoušeného materiálu. Všeobecně platí, že čím větší prodloužení a zúžení, tím plastičtější materiál. Význam těchto hodnot nejlépe vysvitne z dalšího příkladu. Uvažujme např. nýtové spojení, kde chybný postup způsobil, že plně drží jen jeden nýt, ostatní částečně. Zatížíme-li takový spoj, je zmíněný nýt přetížen a začne se plasticky deformovat. Tou měrou, jak se deformuje, začnou přenášet zatížení i ostatní nýty, až jsou všechny zatíženy rovnoměrně. Spoj je bezpečný i proti malému přetížení. Kdyby uvažovaný nýt neměl dostatečně vysoké plastické vlastnosti, byl by zatěžován tak dlouho, až by se utrhl. Tím by ovšem byl pro nosnost spoje ztracen, celé zatížení by musely přenést zbývající nýty, které by pak nebyly zcela bezpečné proti jakémukoliv přetížení. Naopak jsou příklady, kdy se předem zřikáme plastických vlastností, jako např. u pružinových materiálů, kde je výhodnější velké zatížení bez deformace, i když při velkém přetížení může dojít k náhlému lomu.



obr. 8 Stanovení zatížení zkušební tyče při dosažení smluvní meze kluzu v diagramu zkoušky tahem



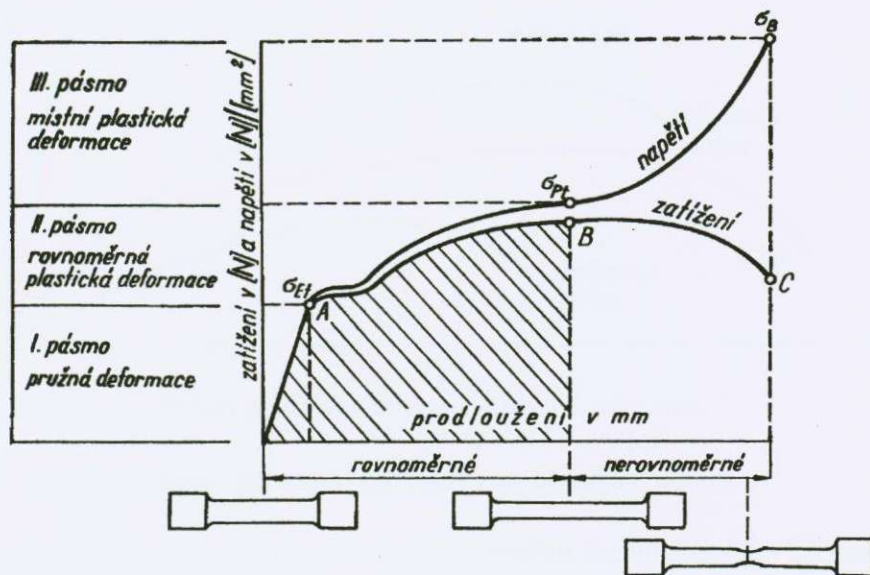
obr. 9 Pracovní diagram oceli s výraznou mezí kluzu a oceli bez výrazné meze kluzu

Nevykazuje-li materiál výraznou mez kluzu obr. 9, určíme tzv. smluvní mez kluzu

obr. 8 . Je to napětí, při kterém je trvalé poměrné prodloužení 0,2% a označujeme $\sigma_{KT0,2}$. Obdobně lze stanovit smluvní mez pružnosti, kterou značíme $\sigma_{ET0,005}$. Nelze-li trvalou deformaci určit s touto přesností, můžeme určit smluvní mez pružnosti při jiné, trvalé deformaci.

2.6 Stanovení smluvní meze pevnosti v tahu

Určíme ze vztahu: $\sigma_{PT} = \frac{F_{MAX}}{S_0}$ Toto napětí je ovšem smluvní a neshoduje se se skutečným tahovým napětím, které je větší. Vlivem prodloužení zkušební tyče a zúžení



obr. 10 Trhací diagram při zkoušce tahem a diagram průběhu skutečného napětí nízkouhlíkové oceli

je skutečný průřez v průběhu zkoušky menší než před zkouškou S_0 .

Na obr. 10 vidíme diagram průběhu tahové zkoušky nízkouhlíkové oceli a diagram skutečného napětí při zkoušce. Při stanovení skutečného napětí je nutné vztáhnout zatížení vždy k okamžitému průřezu tyče. Je tedy nutno měřit v průběhu zkoušky i průměr tyče a z něho vypočítat okamžitý průřez. Po překročení meze pružnosti σ_{ET} se liší skutečné napětí od napětí smluvního (vztaženého k S_0). Čím více se zmenšuje průřez tyče, tím je rozdíl mezi těmito napětími větší. Při dosažení meze pevnosti σ_{PT} je již tento rozdíl značný. Po překročení této meze dochází k zužování tyče v jednom místě lokální deformace. Tím dochází v tomto místě prudce ke snižování průřezu. I když zatížení klesá, skutečné napětí se prudce zvyšuje. Skutečné napětí dosahuje nejvyšší hodnoty v okamžiku přetržení, zatímco smluvní napětí bylo nejvyšší při dosažení meze pevnosti σ_{PT} . Po této mezi smluvní napětí klesá, přestože nebere v úvahu zmenšení průřezu a vychází z průřezu počátečního S_0 . Podle deformace zkušební tyče, lze rozdělit diagram tahové zkoušky na tři pásma (viz obr. 10):

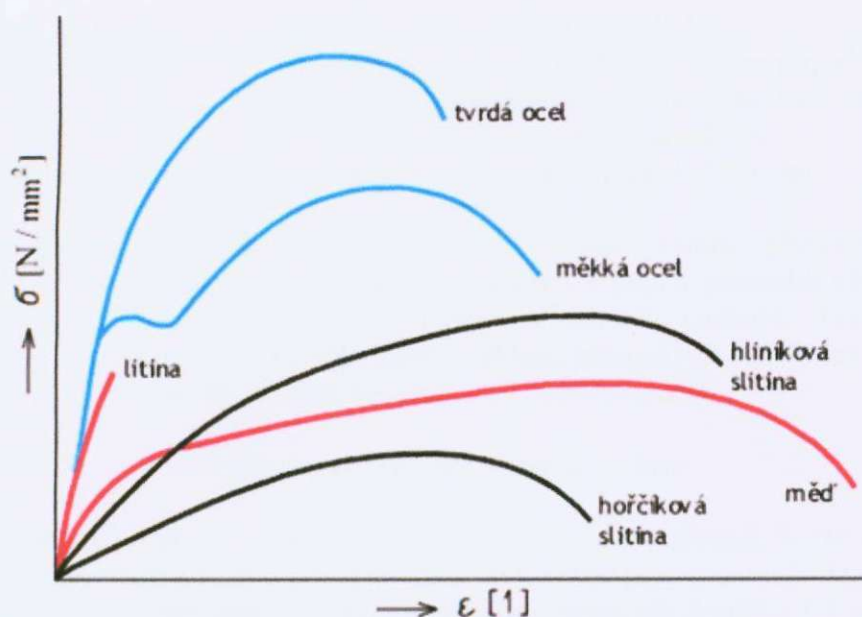
I.pásma – pružná deformace (prodloužení)

II.pásma – trvalá, rovnoměrná deformace (prodloužení)

III. pásma – trvalá místní, nerovnoměrná deformace (prodloužení)

2.7 Pracovní diagramy vybraných materiálů

Tvar pracovního diagramu se mění podle druhu materiálu. Na obr. 11 Jsou uvedeny pracovní diagramy pro některé konstrukční materiály.



obr. 11 Příklad pracovních diagramů různých kovů a slitin

2.8 Praktické uplatnění poznatků ze zkoušky tahem

Konstruktor – člověk, který sestavuje, navrhuje konkrétní technické dílo. Při své práci se musí bezpodmínečně pohybovat v oblasti pružných deformací, které zaručují stabilitu a bezpečnost výrobku. Při výpočtech převážně vychází z meze pevnosti v tahu σ_{pt} , protože u jistých druhů materiálů je velmi obtížné určit kdy se materiál začne deformovat plasticky viz. Obr. 11. Proto se stanovuje maximální napětí, které může na daný výrobek působit:

$$\sigma_{dov} = \frac{0,6 * \sigma_{pt}}{n} * k_{1-3}$$

n – koeficient bezpečnosti (2 – 5)

závisí na: povaze materiálu

funkci součásti (nebezpečí havárie)

povaze zatěžování

provozních podmínkách (koroze, teplota)

k – součinitel druhu namáhání (0,65 – 1)

podle druhu namáhání statické ($k_1 = 1$)

pulsující ($k_2 = 0,85$)

střídavé ($k_3 = 0,65$)

σ_{pt} - mez pevnosti v tahu. (Zjistíme v tabulkách)

Jako nejběžnější konstrukční materiál se stále uplatňuje ocel. Ocel se podle ČSN dělí do tříd 10 – 19. oceli třídy 10 – 11 (Konstrukční oceli)

12 – 16 (Ušlechtilé konstrukční oceli)

17 – (Speciální oceli žáruvzdorné, žárupevné)

18 – (Speciální oceli lisované z prášku do váhy 1kg)

19 – (Nástrojové oceli)

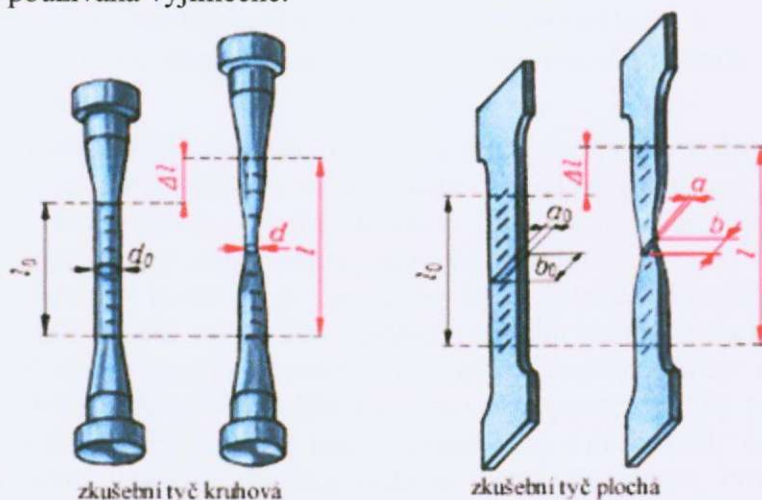
Příklad: 11 573 – Označení podle ČSN

První dvolčíslí uvádí třídu oceli v našem případě 11
Druhé dvojčíslí * 10 uvádí mez pevnosti v MPa v našem případě 570 MPa.
Prokonstruktéra velice důležitý údaj, pouze u ocelí tříd
10 – 16 u ostatních najdeme v tabulkách.
Poslední zbylé číslo Uvádí způsob zpracování, válcování, kování...

Technolog – člověk, který se zabývá uplatňováním přírodovědeckých, fyzických, technický, chemických a jiných poznatků při zavádění, zdokonalování a využívání výrobních postupů. Technolog se naopak musí pohybovat v oblasti plastických deformací (ohybání), nebo až za mezí pevnosti materiálu (stříhání)

2.9 Zkušební tyče pro zkoušku tahem

Ke zkoušce je možno použít podle obr. 12 tyče válcové nebo ploché. Volba druhu tyče závisí na povaze, tvaru a rozměrech materiálu, ze kterého jsou tyče odebírány. Válcové tyče mohou mít nejmenší průměr 3 mm, ploché tyče nejmenší tloušťku 0,5 mm. Menší rozměry jsou používána výjimečně.



obr. 12 Tvary zkušebních tyčí pro zkoušku tahem

Měřená délka se určí výpočtem ze vztahů

$$L_0 = 5,65\sqrt{S_0} \quad \text{u krátkých tyčí}$$

$$L_0 = 11,3\sqrt{S_0} \quad \text{u dlouhých tyčí}$$

Pro určení počáteční plochy příčného průřezu zkoušené části zkušební tyče S_0 je třeba tyč proměřit nejméně na třech místech, tj. ve středu a na krajích zkoušené části tyče.

Vypočtená měřená délka L_0 se zaokrouhluje u krátkých tyčí na nejbližší násobek 5, u dlouhých tyčí na nejbližší násobek 10.

Šířka plochých tyčí tloušťky 0,5 až 2 mm je 12,5 mm, při tloušťce nad 2 a do 3 mm je 20 mm, při tloušťkách nad 3 mm nesmí poměr šířky k tloušťce tyče překročit 8 : 1.

Zkoušená délka musí být v rozmezí

$$L_c = L_0 + 0,5d_0 \text{ až } L_0 + 2d_0 \quad \text{u válcových tyčí}$$

$$L_c = L_0 + 1,5\sqrt{S_0}a\sqrt{L_0} + 2,5\sqrt{S_0} \quad \text{u plochých tyčí tloušťky nad 3 mm}$$

$$L_c = L_0 + \frac{b_0}{2}a\sqrt{L_0} + 2b_0 \quad \text{u plochých tyčí tloušťky pod 3 mm}$$

Tvar a rozměr hlav zkušebních tyčí i přechodu z hlavy do zkoušené délky závisejí jednak na druhu zkoušeného materiálu, jednak na typu čelistí zkušebního stroje. Hlavní zásadou je, aby upevnění zkoušené tyče nezkreslovalo výsledky měření prokluzováním tyčí v čelistech nebo porušování tyčí v místě přechodu ze zkoušené části do hlavy tyče.

Tvary a úpravy zkušebních tyčí jsou uvedeny v ČSN 42 0311 až 4203 21, 420329 až 420337, odběr a úpravy zkušebních vzorků v ČSN 420305 a 42 0306.

Vzhledem k pracnosti vytváření rozšířených hlav tyčí je ve školní laboratoři výhodné použití tyčí stálého průřezu v celé délce, upínaných do klínových rýhovaných čelistí. V tomto případě je třeba ustavit čelisti stroje od značek vymezujících počáteční měřenou délku na vzdálenost 20 až 30 mm.

Povrch zkušebních tyčí se opracovává obráběním. Přitom nesmí u válcových tyčí rozdíl mezi největším a nejmenším průměrem v rozsahu zkoušené délky překročit u průměru do 10 mm 0,03 mm, u průměru nad 10 do 20 mm 0,04 mm a u průměru nad 20 mm 0,05 mm. Podobné hodnoty určuje norma pro ploché tyče.

Drsnost povrchu obráběných tyčí válcových nesmí překročit $R_a = 0,63$, tyčí plochých $R_z = 20$.

Norma povoluje zkoušet válcované tyče tvarového průřezu, lité zkušební tyče a hotové výrobky bez obrobení povrchu. V případě laboratorních cvičení předmětu budou pravděpodobně bez obrobení povrchu zkoušeny i válcované či tažené tyče kruhového průřezu i když nebudou přísné požadavky normy dodrženy.

Před měřením je nutno na povrchu tyčky vyznačit počáteční měřenou délku a po hlubší rozbor měření ještě tuto délku značkami rozdělit na kratší úseky (zpravidla 10 nebo 5 stejně dlouhých úseků). Vyznačení koncových bodů počátečné měřené délky je možno povést dvěma dulkami. Vhodnější je narýsovat na povrchu tyčky podélnou rysku a příčnými ryskami vyznačit koncové body měřené délky i dělicí body úseků. Orýsování tyčky nesmí ovlivnit výsledek zkoušky, ryska se nesmí stát vrubem. Pro větší zřetelnost se někdy povrch tyčky opatřuje vrstvou mědi nebo rychleschnoucí barvou.

3. Statická zkouška tlakem

3.1 Úvod

Statická zkouška tlakem má praktický význam u křehkých materiálů (litina, ložiskové kompozice...) a u stavebních materiálů s tlakovým zatížením (beton, cihly ...). Chování houževnatých materiálů neumožňuje zjištění meze pevnosti v tlaku, protože stlačovaný vzorek může stále zmenšovat svoji výšku a zvětšovat průřezové rozměry, aniž by došlo k jeho zřetelnému rozrušení.



obr. 13 Zkušební vzorek upnutý mezi čelisti zkušebního stroje

3.2 Teorie tlakové zkoušky

Úkolem zkoušky je zjištění meze pevnosti v tlaku, meze kluzu (výrazné či smluvní), poměrného zkrácení a příčného rozšíření. Veškerá literatura zatím používá původní označení řeckými písmeny, analogické s dřívějším označováním veličin u zkoušek tahem.

3.3 Základní pojmy a principy zkoušky

Napětí v tlaku je označováno σ_{pd} , poměrná deformace (stlačení) σ_d . Mez kluzu v tlaku u houževnatých materiálů může být výrazná a pak se značí σ_{kd} .

Křehké materiály zpravidla nemají výraznou mez kluzu. Určujeme u nich z pracovního diagramu smluvní mez kluzu $\sigma_{kd0,2}$ z trvalé deformace pod zatížením obdobně jako při určování hodnoty σ_{kd} u zkoušky tahem.

Mez pevnosti se určuje pouze u křehkých materiálů, které porušují svoji soudržnost, aniž by prakticky došlo k plastické deformaci. Zkušební vzorek se rozdrť v rovinách, ve kterých tangenciální napětí dosáhne maximální hodnoty, tedy pod úhlem 45° od směru plošných sil. Mez pevnosti se určí ze vztahu:

$$\sigma_{pd} = \frac{F_{MAX}}{S_0} \text{ (MPa)}$$

Kde F_{MAX} je největší síla v (N) dosažená během zkoušky, S_0 je počáteční plocha průřezu vzorku v rovině kolmé na směr zatěžovacích sil.

U houževnatých materiálů není možno mez pevnosti zjistit a zkouška se zpravidla ukončí po překročení meze kluzu.

Obdobu tažnosti, určené při zkoušce tahem, je při zkoušce tlakem poměrné zkrácení, určované podle výrazu:

$$\delta_d = \frac{h_0 - h}{h_0} * 100 (\%)$$

Kde h_0 je původní výška zkušební vzorku,

h je výška zkušební vzorku po zkoušce.

Je patrné, že poměrné zkrácení není možno určit u materiálů křehkých, u nichž dochází k úplnému rozpadu.

Podobně je definováno příčné rozšíření výrazem

$$\psi_d = \frac{S - S_0}{S_0} * 100 (\%)$$

Kde S_0 je počáteční plocha průřezu zkušební vzorku,

S je plocha průřezu vzorku po zkoušce.

Ani příčné rozšíření není možno u křehkých materiálů zjistit.

Principem zkoušky je zatěžování zkušební vzorku tlakovou silou v jeho ose až do úplné destrukce vzorku u křehkých materiálů nebo do překročení meze kluzu u materiálů houževnatých.

3.4 Provedení zkoušek

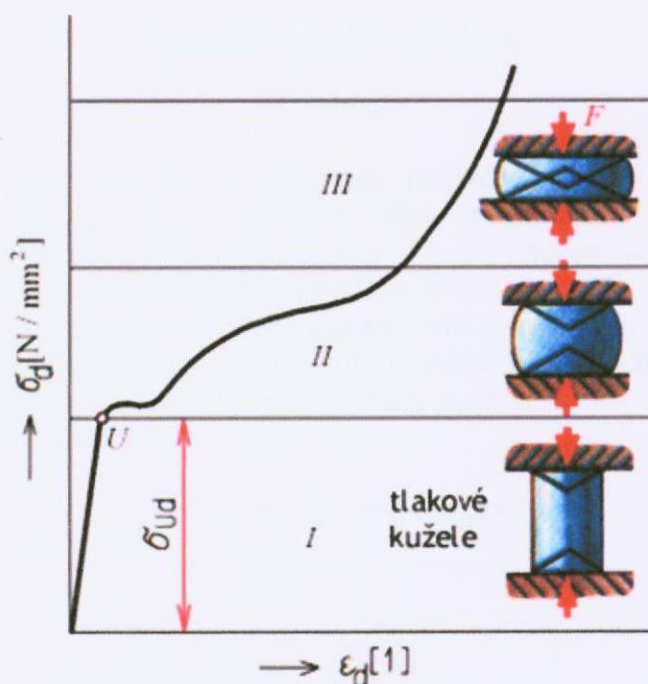
Ke zkoušce se zpravidla používají univerzální trhací stroje, někdy hydraulické lisy. U trhacích strojů získáváme pracovní diagram, obdobný diagramu u tahové zkoušky.

Zkušební těleso se umísťuje mezi dvě ocelové desky. K dosažení osového zatížení je alespoň jedna deska uložena na kulové podložce. Z bezpečnostních důvodů je třeba opatřit místo zkoušky průhledným představitelným a odklopným štítem z plexiskla. Vyhodnocení zkoušky se provádí obdobně jako u zkoušky tahem.

3.5 Pracovní diagram zkoušky tlakem měkké uhlíkové oceli

Průběh tlakové deformace zkušební válečku z houževnatého materiálu (měkké oceli) je znázorněn na obr. 14. V prvním údobí zkoušky je křivka napětí strmá, materiál odolává tlaku a tvoří se tzv. tlakové kužele. V druhém údobí hmota tělesa lehce klouže po kuželových plochách do stran, což se jeví v tlakovém diagramu menším vzrůstem napětí vzhledem k deformaci. Jakmile se tlakové kužele k sobě přiblíží (třetí údobí), vzrůstá odpor proti stlačování a křivka stlačení má opět strmý průběh. Této třetí fáze obvykle u tlakových zkoušek nedosahujeme. U křehkého materiálu nastává rozdrčení (lom) bez plastické deformace.

Mez pevnosti v tlaku se uvádí jen pro křehké materiály, neboť u měkkých a tvárných kovů nelze určit okamžik porušení.



obr.14 Pracovní diagram zkoušky tlakem měkké uhlíkové oceli

3.6 Zkušební vzorky (tělesa)

Kovové zkušební vzorky mají tvar válečku o průměru $d_0 = 10$ až 30mm . Výška válečků se volí u hrubých zkoušek $(1 \div 1,5) d_0$. U přesných zkoušek mají zkušební válečky výšku $h = (2,5 \div 3) d_0$. Přitom se na nich vynáší a vyhodnocuje výška $h_0 = (2 \div 2,5) d_0$.

Tato úprava slouží k vyloučení vlivu styku hlavy s čelem vzorku. K dosažení stejného cíle by měla být čela válečku broušena. Tření mezi čely vzorku a opěrnými deskami způsobuje nerovnoměrné rozložení napětí v tělese vzorku, což se projevuje navenek změnou válcového tvaru vzorku na soudkovitý.

Vzorky nekovových materiálů, zejména stavebních hmot, mohou mít tvar krychle.

Zvolený tvar a rozměry vzorku vycházejí z povahy zkoušeného materiálu a způsobu jeho zpracování. Porovnávat výsledky dosažené zkouškou je však možno pouze u vzorků geometricky si podobných, tj. se stejným poměrem $h/\sqrt{S_0}$.

4. Statická zkouška ohybem

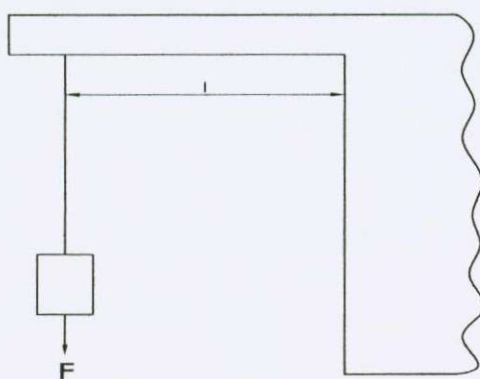
4.1 Úvod

Zkouška má význam zejména u křehkých materiálů, u kterých je zjišťování charakteristických mechanických vlastností tahovou zkouškou zpravidla obtížné. Naopak u materiálů houževnatých a tvárných se zkouška ohybem provádí velmi zřídka, protože u zkušebních vzorků k lomu nemusí vůbec dojít.

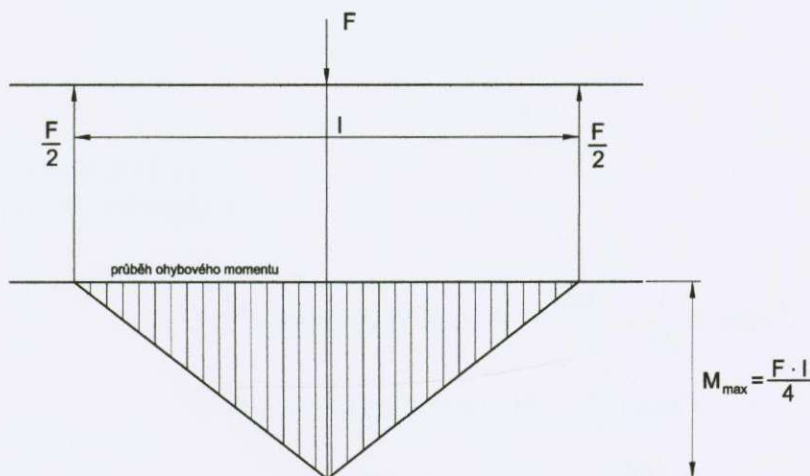
Nejčastěji se používá statická zkouška ohybem u šedé litiny. Výsledky zkoušky podávají dobré informace jednak o pevnosti litiny, jednak o její houževnatosti.

Zkouška ohybem je pro šedou litinu normalizována normou ISO. Těmto mezinárodním normám odpovídá ČSN 420361

4.2 Teorie ohybové zkoušky



obr. 15 Namáhání na ohyb



obr. 16 Schéma nosníku, uloženého na dvou podporách a namáhaného na ohyb silou F a průběh ohybového momentu

Způsob ohybového namáhání je zřejmý z obr. 15. Čím větší je zatížení F a čím větší je vzdálenost l mezi působením zatížení a místem uchycení, kde sledujeme namáhání zkoušeného předmětu, tím větší je jeho namáhání. Velikost tohoto ohybového namáhání je dána jednak velikostí působící síly (F), jednak vzdáleností síly od uvažovaného místa (l) a rozměry namáhaného kusu. Z toho je zřejmé, že namáhání je v každém místě jiné. Součin síly a ramene, na němž působí, se jmenuje ohybový moment (M).

$$M = Fl$$

Ohybové napětí je pak dáno:

$$\sigma = \frac{M}{W} \text{ (MPa)}$$

Kde W je modul průřezu, což je veličina, odvozená z rozměrů zkoušeného předmětu a má zde obdobnou funkci jako plocha průřezu při zkoušce tahem. Pro různé druhy a rozměry průřezů najdeme odpovídající hodnoty v tabulkách.

Principem zkoušky je plynulé zatěžování zkušební tyče soustředným zatížením kolmo k její ose uprostřed vzdálenosti mezi podpěrami až do rozrušení.

Při zkoušce se zjišťuje pevnost v ohybu, tedy ohybové napětí v okamžiku rozrušení zkušební tyče, a průhyb při ohybu.

Při zkoušení uvažujeme skoro výlučně jen případ, kdy tyč je uložena na dvou podporách vzdálených o délku l a síla působí uprostřed, tj. vzdálenost $l/2$ od podpor obr. 16 Pak platí, že $M = \frac{F}{2} * \frac{l}{2}$. Ohybový moment, protože je po délce tyče konstantní průřez, pak také i ohybové napětí je největší přímo pod působící silou a ubývá k podporám, kde mizí.

4.3 Základní pojmy

Pevnost v ohybu σ_{p0} se vypočítá podle vzorce

$$\sigma_0 = \frac{M_{0MAX}}{W_0} \text{ (MPa)}$$

$$M_{0MAX} = \frac{F_{MAX} * l}{4} \text{ (Nm)}$$

Kde l je vzdálenost podpor.

Modul průřezu W_0 má hodnoty:

$$\text{Pro kruhový průřez: } W_0 = \frac{\pi d^3}{32} \cong \frac{1}{10} d^3 \text{ (mm}^3\text{)}$$

$$\text{Pro čtvercový průřez: } W_0 = \frac{a^3}{6} \text{ (mm}^3\text{)}$$

$$\text{Pro obdélníkový průřez: } W_0 = \frac{bh^2}{6} \text{ (mm}^3\text{)}$$

Kde b (mm) je šířka a h (mm) výška zkušební tyče zatěžovacím místě. Pro čtvercový průřez je $b=h$.

Průhyb je měřen jako posun zatěžovacího trnu vzhledem k podpěrné části přídavného zařízení až do okamžiku, kdy byl průhyboměr při počátečním zatížení vynulován.

Z nauky o pružnosti a pevnosti je znám vztah pro průhyb v oblasti pružných deformací

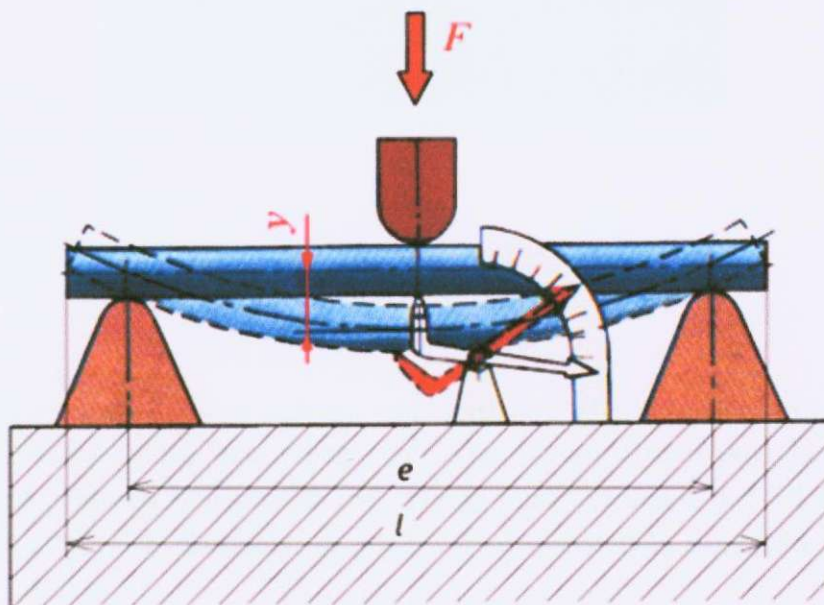
$$y = \frac{Fl^3}{48EI}$$

Kde E (MPa) je modul pružnosti daného materiálu v tahu a I (mm^4) je kvadratický moment průřezu.

Tento vztah může být použit pro určení modulu pružnosti E ve známé zatěžovací síly F a vzniklého průhybu y .

4.4 Zkušební zařízení a provedení zkoušky

Zkouška se zpravidla provádí na univerzálním trhacím stroji s přídavným zařízením, které se skládá ze dvou podpěrných válečků a zatěžovacího trnu podle obr. 17.



obr. 17. Zkouška ohybem

Vzdálenost válečků, jejich poloměry a poloměr trnu jsou uvedeny tabulce.

Průhyb může být měřen zvláštním měřidlem, které je součástí přídavného zařízení, nebo zvlášť uchyceným číselníkovým úchylkoměrem. Požadovaná přesnost měření průhybu je nejméně + 1%. Při nižších požadavcích na přesnost je možno průhyb odečíst i z pracovního diagramu zkušebního stroje, pokud bylo zvoleno dostatečné zvětšení.

Zkušební tyč se měří v působišti zatěžující síly ve dvou vzájemně kolmých směrech. Za průměr d_c , sloužící pro výpočet napětí, se považuje aritmetický střed obou měření.

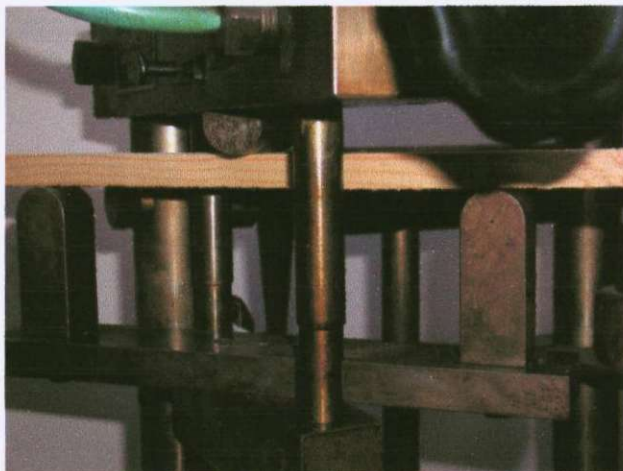
Tyč se pokládá na válečky tak, aby případné stopy po dělicí rovině formy ležely v neutrální rovině a osa tyče byla kolmá na osy opěrných válečků.

Rychlost zatěžování nesmí přestoupit nárůst napětí o 10 MPa / s.

V případě čtvercového nebo obdélníkového průřezu zkušební tyče (např. při zkoušce dřevěného vzorku) se měří oba průřezové rozměry po kontrole pravouhlosti průřezové plochy.

Aby se zmenšily chyby měření, provádí se zatěžování ve dvou fázích. Nejdříve se zkušební tyč zatíží zatížením počátečním podle tab. a při tomto stavu se určí nulová hodnota průhyboměru. Potom se plynule zkušební tyč zatěží až do lomu.

Na obr. 18 Vidíme příklad statické zkoušky v ohybu dřevěného hranolu na univerzálním stroji Amsler.



obr. 18 Příklad statické zkoušky v ohybu

4.5 Zkušební tyče

Zkušební tyče ze šedé litiny se odlévají jako vertikální válec. Nemají mít znatelné švy. Tyče se zpravidla používají neobrobené, tedy s licí kůrou. Drsnost povrchu R_a v tomto případě nesmí překročit hodnotu $25 \mu m$, ovalita musí být menší než 5% jmenovitého průměru. Ve zvláštních případech se používají obrobené tyče s drsností povrchu R_a do hodnoty $3,2 \mu m$.

d (mm)	e (mm)	l (mm)	počáteční zatížení (N)	D (mm)	R (mm)
10	200	220	od 20 do 40	od 20 do 30	od 10 do 15
13	260	310	od 40 do 80	od 20 do 30	od 10 do 15
15	310	350	od 80 do 100	od 20 do 30	od 10 do 15
20	400	450	od 100 do 200	od 50 do 60	od 25 do 30
30	600	650	od 300 do 390	od 50 do 60	od 25 do 30
45	900	1000	od 390 do 780	od 50 do 60	od 25 do 30

Normou stanovené průměry zkušebních tyčí jsou spolu s dalšími hodnotami, potřebnými pro provedení zkoušky v tabulce.

5. Dynamická zkouška rázem v ohybu

5.1 Úvod

Statickými zkouškami jsou zjišťovány mechanické vlastnosti materiálů při působení stálých nebo zvolna a plynule se měnících sil. V praxi je ale většina strojních součástí namáhána silami, které se mění skokem, nebo opakovaně s vysokou frekvencí. První případ je označován jako namáhání rázové, druhý jako cyklické. Přirozeně může nastat i namáhání cyklické rázové. Chování a vlastnosti materiálu za těchto podmínek se posuzují zkouškami dynamickými – rázovými a únavovými.

5.2 Teorie zkoušky rázem v ohybu

Zkoušky mohou být prováděny mnoha způsoby: jedním, nebo opakovanými rázy, tahem, tlakem, nebo ohybem se vzorem podepřeným na obou koncích (metoda Charpyho), nebo letmo (metoda Izodova) se vzorky hladkými, nebo opatřenými vrubem. Nejčastější je zkouška rázem v ohybu na tyči opatření vrubem, podle ČSN 42 0381

5.3 Základní pojmy a princip zkoušky

Nárazová práce je práce potřebná na přeražení zkušební tyče.

Vrubová houževnatost je podílem nárazové práce a počátečního příčného průřezu zkušební tyče v místě vrubu.

U nárazové práce a vrubové houževnatosti se k základnímu označení připisuje označení tvaru vrubu (U nebo V) a největší energie kladiva. U nárazové práce se dále uvádí hloubka vrubu a šířka zkušební tyče. U vrubové houževnatosti druhé číslo udává u tyčí s U vrubem hloubku vrubu a třetí číslo šířku zkušební tyče u tyčí s V vrubem druhé číslo určuje šířku zkušební tyče.

Příklady označení:

KU 150 /2/7,5 znamená nárazovou práci měřenou na tyči s U vrubem při maximální energii kladiva $K_{MAX} = 150\text{J}$, hloubce vrubu 2 mm a šířce zkušební tyče 7,5 mm.

KCU 100/5/10 znamená vrubovou houževnatost zjištěnou na tyči s U vrubem při maximální energii kladiva $K_{MAX} = 100\text{J}$, hloubce vrubu 5 mm a šířce zkušební tyče 10 mm.

V případě měření na kladivu s $K_{MAX} = 300\text{J}$ při šířce zkušební tyče 10 mm a U vrubu hloubky 5 mm, nebo V vrubu (hloubka je vždy 2 mm) se podrobnější údaje neuvádějí.

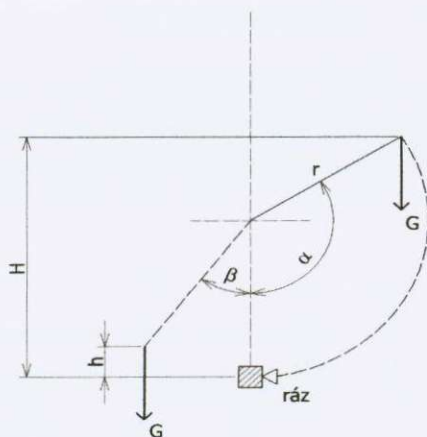
Příklady:

KU znamená nárazovou práci na tyči s U vrubem za výše uvedených podmínek.

KCV vrubovou houževnatost na tyči s V vrubem za těchto podmínek.

Uvedené zpřesňující údaje o zkoušce je třeba zapisovat z toho důvodu, že výsledky zkoušky rázem v ohybu nejsou při různých podmínkách vzájemně srovnatelné.

Podstata zkoušky spočívá v přeražení zkušební tyče jedním nárazem kyvadlového kladiva. Jako výsledek zkoušky se určuje buď nárazová práce, nebo vrubová houževnatost.



obr. 19 Schéma kyvadlového kladiva

Práce potřebná k přeražení tyče by se měla vztahovat na deformovaný objem tyče. Jeho přesné vymezení je však nemožné. Proto se u zkoušky Charpyho vztahuje spotřebovaná práce na nejmenší průřez zkušební tyče v místě vrubu. Tato hodnota se nazývá vrubová houževnatost R :

$$R = \frac{A_r}{S_0} (\text{jcm}^{-2})$$

A_r nárazová práce potřebná k přeražení tyče v (J)

$$A_r = G(H - h) = G * r(\cos \beta - \cos \alpha) \text{ viz. obr. 19}$$

S_0 průřez zkušební tyče v místě vrubu v (cm^2)

5.4 Zkušební zařízení a provedení zkoušky

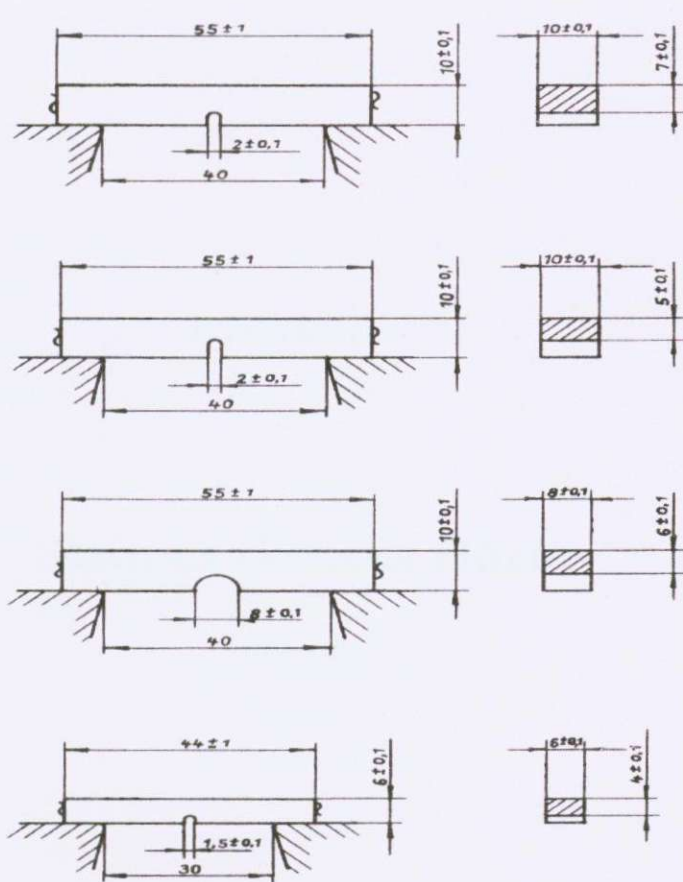
Zkoušky se provádějí na kyvadlových kladivech s maximální energií nárazu 5, 10, 50, 100, 150 a 300 J.

Před započítáním zkoušky je třeba zkontrolovat správnost polohy ukazatele energie nárazu. Zkušební tyč se uloží na podpěry kolmo k rovině kyvu kladiva vrubem proti místu nárazu kladiva.

Při spouštění kyvadla kladiva je nutno dbát bezpečnostních opatření, aby nemohlo dojít k úrazu vlastním kyvadlem, ani odlétlým vzorkem po jeho přeražení. V případě, že nedošlo k úplnému zlomení tyče, je zkouška neplatná.

5.5 Zkušební tyče

Tyče musí být obrobeny na všech stranách. Úhly v příčných průřezích musí být $90^\circ \pm 0,5^\circ$. Na tyči nesmí být viditelné povrchové vady. Rovina souměrnosti vrubu musí být kolmá k podélné ose zkušební tyče. Způsob zhotovení vrubu je libovolný /frézování, hoblování, broušení apod..



obr. 20 Zkušební vzorky pro zkoušku rázem v ohybu

6. Navržená metodika měření

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Fakulta pedagogická
Katedra fyziky
Ústav technické výchovy
Na sádkách 55, České Budějovice 370 10

JCU-PF
Laboratoř:
Semestr:
Rok:
Číslo úlohy:

Laboratoř j217

Statická zkouška tahem

Jan Říha

10. března 2006

Měření provedeno:	2006-03-08
Vedoucí práce:	PaedDr. Bedřich <u>Veselý</u>
Měření provedl:	Jan <u>Říha</u>
Zpracoval:	Jan <u>Říha</u>

ABSTRAKT

Cílem měření je stanovit hodnotu meze pevnosti v tahu, mez kluzu, tažnost a kontrakci. Měření se provádí na trhacím stroji.

OBSAH

TITULNÍ LIST	1
ABSTRAKT	2
OBSAH	2
0. ZADÁNÍ	2
1. TEORETICKÝ ROZBOR	2
2. POSTUP MĚŘENÍ	3
2.1 POMŮCKY	3
2.2 ZKUŠEBNÍ TĚLESO	3
3. NAMĚŘENÉ A VYPOČTENÉ HODNOTY	4
3.1 GRAF	5
4. ZÁVĚR PROTOKOLU	5

0. ZADÁNÍ

U daných vzorků materiálů zjistěte: 1. Mez pevnosti v tahu R_m (σ_{pt})

2. Mez kluzu R_e (σ_{kl})

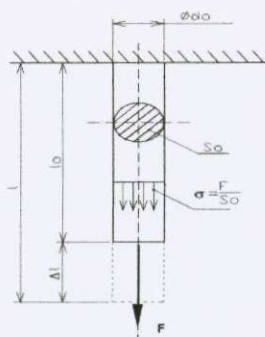
3. Tažnost A (δ)

4. Kontrakce Z (ψ)

1. TEORETICKÝ ROZBOR

Zkouškou zjišťujeme hodnoty, které jsou nezbytně nutné pro pevnostní výpočty strojů, konstrukcí a k ověření hodnot mechanických vlastností materiálů, dodávaných z výrobních závodů ke zpracování do strojírenských závodů. Tato zkouška patří k nejpoužívanějším v technické praxi.

Při zkoušce sledujeme chování materiálu za působení klidných, plynule a spojitě se měnících sil. Bez rázů, při současném zjišťování závislosti mezi působící silou a deformací zkušební tyče (vzorku). Zatěžování zkušební tělesa pokračuje plynule až do přetržení.



Zkušební tyč o průřezu S_0 (mm²) a měřené délce l_0 (mm) je zatěžována plynule vzrůstající silou F (N) ve směru své osy (axiálně). Tím se prodlouží z původní délky l_0 na délku l o hodnotu $\Delta l = l - l_0$. Také původní průřez S_0 se změní (zmenší) na průřez S . Zatěžující síla F vyvolá ve zkoušené tyči tzv. normální napětí σ_0 , které je vyjádřeno vztahem:

$$\sigma_0 = \frac{F}{S_0} \text{ (MPa)}$$

Toto napětí je tzv. smluvní, neboť se vztahuje na původní plochu průřezu S_0 . Vedle toho rozlišujeme tzv. skutečné napětí σ , které je vztaženo na skutečnou plochu průřezu S v libovolném okamžiku zkoušky ve kterém se počáteční plocha průřezu S_0 zmenšila na S :

$$\sigma = \frac{F}{S} \text{ (MPa)}$$

Po přetržení zkušební vzorku vypočítáme tyto důležité hodnoty:

- a) Mez pevnosti v tahu - R_m (σ_{pt}) (MPa) tzv. smluvní napětí na mezi pevnosti z hodnoty maximálního zatížení – síly F_{MAX} a původního průřezu S_0 .

$$R_m (\sigma_{pt}) = \frac{F_{MAX}}{S_0} \text{ (MPa)}$$

- b) Tažnost - A (δ), která do jisté míry charakterizuje houževnatost zkoušeného kovu. Je určena poměrným prodloužením ε . Vyjádřeným v procentech:

$$A (\delta) = \frac{l - l_0}{l_0} * 100 \text{ (\%)}$$

- c) poměrné zúžení (kontrakce) - Z (ψ), které spolu s tažností charakterizuje tvárnost zkoušeného materiálu. Je dáno porovnáním celkové změny průřezu $S_0 - S$ s původním průřezem S_0 :

$$Z (\psi) = \frac{S_0 - S}{S_0} * 100 \text{ (\%)}$$

2. POSTUP MĚŘENÍ

- a) Pomocí mikrometru změřte na několika místech 10krát průměr zkušební tyče a vypočítáme průřez S_0 .
- b) Pomocí měřítka změřte 10krát délku zkušební tyče a přesně vyznačíme na vzorku měřenou délku l_0 , kterou rozdělíme na 10 dílků. ($l_0=10$ dílků).
- c) Zapneme zkušební stroj a nastavíme příslušný rozsah zatěžování podle velikosti průřezu a přibližné hodnoty pevnosti materiálu zkoušeného vzorku.
- d) Vzorek pevně upneme do upínacích čelistí.
- e) Nastavíme zvolený rozsah registrace deformace do diagramu.
- f) Po přetržení zkušebního vzorku vzorek vyjmeme z upínací hlavy, změříme délku l a nejmenší průměr v místě přetržení.

2.1 POMŮCKY

Zkušební stroj pro statické zkoušky tahem, mikrometr, měřítko.

2.2 ZKUŠEBNÍ TĚLESO

Zkušební tyče (vzorky) kruhového průřezu nebo z plechu s rozměry dle ČSN. resp. běžný tyčový materiál kruhového nebo čtvercového průřezu.

3. NAMĚŘENÉ A VYPOČTENÉ HODNOTY

č.m.	Průměry (mm)		Plocha průřezu (mm ²)		Délky (mm)	
	d_0	d	S_0	S	l_0	l
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
stř. hod.						

Prodloužení (mm)	Tažnost (%)	Kontrakce (%)	Zatížení na mezi pevnosti (N)	Napětí na mezi pevnosti	
				R_m (σ_{pt})	R_{msk} (σ_{ptsk})
Δl	A (δ)	Z (ψ)			

3. GRAF

4. ZÁVĚR PROTOKOLU

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Fakulta pedagogická
Katedra fyziky
Ústav technické výchovy
Na sádkách 55, České Budějovice 370 10

JCU-PF
Laboratoř:
Semestr:
Rok:
Číslo úlohy:

Laboratoř j217

Statická zkouška tlakem

Jan Říha

10. března 2006

Měření provedeno:	2006-03-08
Vedoucí práce:	PaedDr. Bedřich <u>Veselý</u>
Měření provedl:	Jan <u>Říha</u>
Zpracoval:	Jan <u>Říha</u>

ABSTRAKT

Cílem měření je stanovit hodnotu meze pevnosti v tlaku, mez kluzu v tlaku, poměrné stlačení a příčné rozšíření průřezu vzhledem k původnímu. Měření se provádí na univerzálním trhačím stroji, přizpůsobeném pro tlakovou zkoušku.

OBSAH

TITULNÍ LIST	1
ABSTRAKT	2
OBSAH	2
0. ZADÁNÍ	2
1. TEORETICKÝ ROZBOR	2
2. POSTUP MĚŘENÍ	3
2.1 POMŮCKY	3
2.2 ZKUŠEBNÍ TĚLESO	3
3. NAMĚŘENÉ A VYPOČTENÉ HODNOTY	4
4. ZÁVĚR PROTOKOLU	4

0. ZADÁNÍ

U daných vzorků materiálů stanovte : 1. smluvní napětí na mezi pevnosti v tlaku (pevnost)

$$R_{mt}(\sigma_{pd})$$

2. poměrné stlačení $A_t(\delta_d)$

3. rozšíření $Z_t(\psi_d)$

1. TEORETICKÝ ROZBOR

Při tlakové zkoušce působí síla v ose zkušebního tělesa (axiálně), ale má opačný smysl než při zkoušce tahem. Provádí se hlavně u křehkých materiálů namáhaných na tlak – kupř. u litiny, ložiskových kovů, komposice apod. a u stavebních materiálů (cihly, beton, kámen a pod.). Pro houževnatý a tvárný materiál má tato zkouška jen velmi omezený význam, většinou se provádí jako zkouška technologická. Křehké materiály se při zkoušce přeruší náhle, téměř bez předchozí deformace a to v rovinách, kde tangenciální napětí dosáhne maximální hodnoty, t.j. pod úhlem 45°. V tomto případě odpovídá smluvní napětí při lomu (porušení) pevnosti materiálu v tlaku $R_{mt}(\sigma_{pd})$:

$$R_{mt}(\sigma_{pd}) = \frac{F_{MAX}}{S_0} \text{ (MPa)}$$

Houževnaté a tvárné materiály naproti tomu vykazují určité deformace, takže je možné – obdobným způsobem jako u zkoušky tahem – stanovit z průběhu pracovního diagramu smluvní mez kluzu v tlaku $R_{et}(\sigma_{kd})$

$$R_{et}(\sigma_{kd}) = \frac{F_{kd}}{S_0} \text{ (MPa)}$$

U tvárných materiálů se určuje poměrné stlačení (zkrácení) $A_t(\delta_d)$. t.j. zmenšení výšky zkušební tělíska h vzhledem k původní výšce h_0 :

$$A_t(\delta_d) = \frac{h_0 - h}{h_0} * 100 \text{ (%)}$$

Obdobně lze stanovit příčné rozšíření průřezu $Z_t(\psi_d)$ vzhledem k původnímu S_0 :

$$Z_t(\psi_d) = \frac{S - S_0}{S_0} * 100 \text{ (%)}$$

2. POSTUP MĚŘENÍ

- g) Zkontrolujeme, zda je zkušební stroj řádně připraven.
- h) Podle pevnosti a průřezu zkoušeného materiálu nastavíme příslušný rozsah zatěžování pracovního válce a provedeme nastavení příslušné stupnice a vynulování ukazatelů.
- i) Uložíme zkušební těleso na dolní příčník a ručním kolečkem nad plunžry otáčíme tak dlouho, až se horní příčník dotkne zkušební vzorku.
- j) Kliku pracovního válce dotočíme na doraz doprava a utáhneme ruční kolečko u pracovního válce.
- k) Otáčíme klikou pracovního válce zvolna doleva a sledujeme přitom ručičku ukazující velikost zatížení na stupnici. Pokračujeme v otáčení klikou na doraz doprava a doleva tak dlouho, až se na vzorku objeví trhliny nebo se rozdrtí.
- l) Na stupnici přečteme odpovídající zatížení na mezi pevnosti v tlaku F_{MAX} a na stupnici tyče příčníku odečteme velikost stlačení.

2.1 POMŮCKY

Zkušební stroj pro statické zkoušky v tlaku, mikrometr (posuvné měřítko), strojnické tabulky.

2.2 ZKUŠEBNÍ TĚLESO

Vzorky různých, křehkých i tvárných materiálů s rozměry dle ČSN.

3. NAMĚŘENÉ A VYPOČTENÉ HODNOTY

č.m.	Průměry (mm)		Plocha průřezu (mm ²)		Výšky (mm)	
	d_0	d	S_0	S	h_0	h
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
stř. hod.						
Materiál		Zatížení (N)	$R_{mt}(\sigma_{pd})$ (MPa)	$A_t(\delta_d)$ (%)	$Z_t(\psi_d)$	

4. ZÁVĚR PROTOKOLU

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích	JCU-PF
Fakulta pedagogická	Laboratoř:
Katedra fyziky	Semestr:
Ústav technické výchovy	Rok:
Na sádkách 55, České Budějovice 370 10	Číslo úlohy:

Laboratoř j217

Statická zkouška ohybem

Jan Říha

10. března 2006

Měření provedeno:	2006-03-08
Vedoucí práce:	PaedDr. Bedřich <u>Veselý</u>
Měření provedl:	Jan <u>Říha</u>
Zpracoval:	Jan <u>Říha</u>

ABSTRAKT

Cílem měření je stanovit hodnotu meze pevnosti v ohybu a průhyb. Měření se provádí na univerzálním trhacím stroji.

OBSAH

TITULNÍ LIST	1
ABSTRAKT	2
OBSAH	2
0. ZADÁNÍ	2
1. TEORETICKÝ ROZBOR	2
2. POSTUP MĚŘENÍ	3
2.1 POMŮCKY	3
2.2 ZKUŠEBNÍ TĚLESO	3
3. NAMĚŘENÉ A VYPOČTENÉ HODNOTY	4
4. ZÁVĚR PROTOKOLU	4

0. ZADÁNÍ

U daných vzorků materiálů zjistěte : 1. pevnost v ohybu ζ_{p0}
2. průhyb y

1. TEORETICKÝ ROZBOR

Statická zkouška ohybem se používá hlavně při zkoušení křehkých materiálů, zejména litiny, stavebních hmot apod. U houževnatých, tvárných materiálů nemá význam, neboť k porušení zkušebního tělesa ohybem nedojde – zde se uplatňuje jako zkouška technologická, případně jako zkouška ohybem u hotových součástí a u různých konstrukčních celků – mostů, jeřábů, křídel letadel apod.

Při zkoušce ohybem se zjišťuje také největší průhyb v okamžiku porušení, který charakterizuje tvárnost (houževnatost) materiálu.

Rozměry zkušebních tyčí, které mají obvykle kruhový průřez, jsou stanoveny normou ČSN 42 0361. Tyč je podepřena na dvou podporách a jejich vzdálenost l závisí na jejím průměru d : $l = 20d$. Při zatěžování, které působí uprostřed tyče, je napětí v průřezu rozděleno nerovnoměrně – od maximálních hodnot napětí (v tahu a tlaku) v povrchových vláknech klesá na nulu v neutrální ose. Zkouška se obvykle provádí na univerzálním trhacím stroji. Zkušební tyč je podepřena ve vzdálenosti l na volně otočných válečkách tak, aby podepření nebránilo pohybu tyče a tím i volnému deformování.

Zkouškou zjistíme pevnost v ohybu (smluvní napětí na mezi pevnosti) $R_{m0}(\sigma_{p0})$:

$$R_{m0}(\sigma_{p0}) = \frac{M_{0MAX}}{W_0} \quad (\text{MPa})$$

Kde M_{0MAX} je ohybový moment při maximální zatěžující síle F_{MAX} :

$$M_{0MAX} = \frac{F_{MAX} * l}{4} \text{ (Nm)}$$

Kde l je vzdálenost podpor.

Modul průřezu W_0 má hodnoty:

Pro kruhový průřez: $W_0 = \frac{\pi d^3}{32} \cong \frac{1}{10} d^3 (\text{mm}^3)$

Pro čtvercový průřez: $W_0 = \frac{a^3}{6} (\text{mm}^3)$

Pro obdélníkový průřez: $W_0 = \frac{bh^2}{6} (\text{mm}^3)$

2. POSTUP MĚŘENÍ

- m) Připravíme univerzální trhačí stroj pro zkoušku ohybem
- n) Na daném vzorku určíme příslušné rozměry tyče, dle průřezu: průměr, a , b , h , a z nich stanovíme vzdálenost l podpor, kterou na stroji nastavíme.
- o) Uložíme zkušební vzorek na podpory a se zatěžovacím trnem v napínací hlavici najedeme k tyči tak, aby mezi nimi byla vyloučena vůle (při nulovém zatížení).
- p) Nastavíme na stupnici příslušný rozsah měření (zatížení) podle velikosti průřezu a pevnosti materiálu zkušebního tělesa.
- q) Nastavíme rychlost pohybu (zatěžování) napínací hlavice a provedeme vynulování stupnice pro stanovení průhybu y .
- r) Zatěžujeme zkušební vzorek vzrůstajícím zatížením až do jeho porušení. Na stupnici odečteme příslušnou F_{MAX} a případně průhyb y .

2.1 POMŮCKY

Zkušební stroj pro zkoušku ohybem (univerzální), mikrometr (posuvné měřítko).

2.2 ZKUŠEBNÍ TĚLESO

Zkušební vzorky z různých materiálů s rozměry dle ČSN.

3. NAMĚŘENÉ A VYPOČTENÉ HODNOTY

	Průměr (mm)	a (mm)	b (mm)	h (mm)	l (mm)	S_0 (mm ²)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
Stř. hod.						

Materiál	Modul průřezu W_0 (mm ³)	Zatížení na mezi pevnosti F_{MAX} (N)	Průhyb y (mm)	Napětí na mezi pevnosti $R_{m0}(\sigma_{p0})$ (MPa)	Ohybový moment M_{0MAX} (Nm)

4. ZÁVĚR PROTOKOLU

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích	JCU-PF
Fakulta pedagogická	Laboratoř:
Katedra fyziky	Semestr:
Ústav technické výchovy	Rok:
Na sádkách 55, České Budějovice 370 10	Číslo úlohy:

Laboratoř j217

Vrubová zkouška houževnatosti rázem v ohybu

Jan Říha

10. března 2006

Měření provedeno:	2006-03-08
Vedoucí práce:	PaedDr. Bedřich <u>Veselý</u>
Měření provedl:	Jan <u>Říha</u>
Zpracoval:	Jan <u>Říha</u>

ABSTRAKT

Cílem měření je stanovit vrubovou houževnatost. Měření se provádí na kyvadlovém kladivu typu charpy.

OBSAH

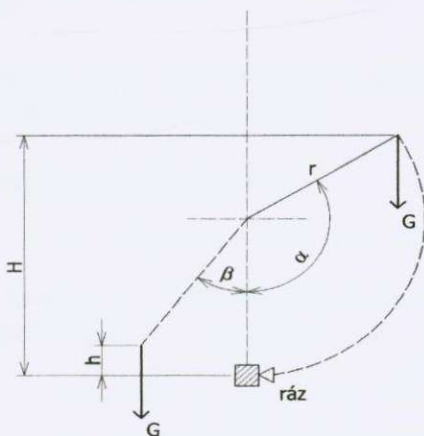
TITULNÍ LIST	1
ABSTRAKT	2
OBSAH	2
0. ZADÁNÍ	2
1. TEORETICKÝ ROZBOR	2
2. POSTUP MĚŘENÍ	3
2.1 POMŮCKY	3
2.2 ZKUŠEBNÍ TĚLESO	3
3. NAMĚŘENÉ A VYPOČTENÉ HODNOTY	3
4. ZÁVĚR PROTOKOLU	4

0. ZADÁNÍ

Stanovte vrubovou houževnatost R , případně RM u daných zkušebních tyčí s výrazně odlišných druhů ocelí.

1. TEORETICKÝ ROZBOR

V praxi jsou strojní součásti jen zřídka zatěžovány výhradně stálými či zvolna a plynule se měnícími silami, které charakterizují statické namáhání. Častěji rostou zatěžující síly skokem nebo se opětovaně mění – jde o namáhání dynamické, v prvním případě o rázové, v druhém o cyklické. Při dynamickém namáhání dochází často k náhlým poruchám soudržnosti, i když zatěžující síly nedosahují statické pevnosti materiálu.



Účelem dynamických zkoušek při rázovém namáhání je stanovení vlastností materiálu za působení dynamických sil.

K určení houževnatosti materiálu při rázovém namáhání, jejímž měřítkem je práce (energie) spotřebovaná na porušení zkušební tělesa, slouží dynamické zkoušky rázem. Mohou se uskutečnit v tahu, tlaku, ohybu a kroucení. Rázová zkouška v ohybu má z rázových zkoušek největší význam, používá se zejména u ocelí.

Práce potřebná k přeražení tyče by se měla vztahovat na deformovaný objem tyče. Jeho přesné vymezení je však nemožné. Proto se u zkoušky Charpyho vztahuje spotřebovaná práce na nejmenší průřez zkušební tyče v místě vrubu. Tato hodnota se nazývá vrubová houževnatost R:

$$R = \frac{A_r}{S_0} (J \cdot cm^{-2})$$

A_r nárazová práce potřebná k přeražení tyče v (J)

$$A_r = G(H - h) = G \cdot r(\cos \beta - \cos \alpha)$$

S_0 průřez zkušební tyče v místě vrubu v (cm^2)

2. POSTUP MĚŘENÍ

- s) Zkontrolujeme a stanovíme rozměry a provedení zkušebních tyčí a změříme plochu nejmenšího průřezu tyče v místě vrubu S_0 .
- t) Kladivo uvedeme do horní polohy a zajistíme před nežádoucím uvolněním.
- u) Zkušební tyč uložíme na příslušném podpěry a správnost uložení (polohu vrubu) zkontrolujeme šablonou.
- v) Před uvolněním kladiva se přesvědčíme, zda ukazatel spotřebované práce je nastaven přesně na nulu.
- w) Uvolníme kladivo a zkušební tyč přerazíme.
- x) Na stupnici odečteme spotřebovanou práci s přesností na 0,1 kpm.

2.1 POMŮCKY

Charpyho kyvadlové kladivo, šablony k ustavení zkušebních tyčí.

2.2 ZKUŠEBNÍ TĚLESO

Zkušební tyče z různých druhů ocelí, nekalených (žíhaných) nebo kalených, s hloubkou vrubu 3mm (ČSN) nebo 2mm (dle Mesnagera-RM)

3. NAMĚŘENÉ A VYPOČTENÉ HODNOTY

Materiál	Tepelné zpracování	Plocha vrubu $S_0 (cm^2)$	Spotřebovaná práce $A_r (J \cdot kpm)$	Vrubová houževnatost R resp. RM ($J \cdot cm^{-2}$)

4. ZÁVĚR PROTOKOLU

Závěr:

Výsledkem této bakalářské práce jsou čtyři navržené protokoly měření. Které budou použity na pedagogické fakultě v předmětu měření – kovo. Protokoly jsou propracované, srozumitelné, přehledné a dobře použitelné pro vyhodnocování destruktivních zkoušek materiálů ve školní laboratoři. Protokoly jsou navrženy podle nejnovějších norem Evropské unie a po konzultaci z odborníky z praxe u nich uvádím jak značení řeckými písmeny tak klasickými, protože ČSN není pro značení přesně definována. Nová norma ještě není vypracována.

Použitá literatura:

- [1] Pluhař, J. a kol.: Nauka o materiálu – Laboratorní cvičení. ČVUT, Praha, 2001, ISBN 80-01-01427-4
- [2] Walla, V.: Zkoušení materiálu. Státní nakladatelství technické Literatury, Praha, 1961
- [3] Morávek, V.: Materiály a technologie – cvičení I. Pedagogická fakulta v Ústí nad Labem, Ústí nad Labem, 1987
- [4] Hruška, K.: Přehled požadavků na uspořádání technické zprávy a Výsledků měření podle mezinárodních normativních předpisů. VUT, Brno, 2001, ISBN 80-214-1874-5
- [5] Nauka o materiálu – Mechanické vlastnosti
<http://mujweb.atlas.cz>