

**VŠB – TU OSTRAVA, Fakulta bezpečnostního inženýrství**



## **Stroje a zařízení**

**Nauka o materiálu**

**Ing. Eva Veličková**

## **Obsah:**

1. STROJÍRENSKÉ MATERIÁLY .....	2
1.1 TECHNICKÉ ŽELEZO .....	4
1.2 NEŽELEZNÉ KOVY A JEJICH SLITINY .....	8
1.2.1 Těžké kovy .....	8
1.2.2 Lehké kovy .....	10
1.3 ZNAČENÍ KOVOVÝCH MATERIÁLŮ .....	13
1.3.1 Značení podle ČSN.....	13
1.3.2 Systém označování podle ČSN EN 10027-1 .....	17
1.3.3 Systém číselného označování podle ČSN EN 10027-2 .....	18
1.3.4 Značení podle ČSN EN 1560 .....	18
1.4 SPECIÁLNÍ SLITINY NEŽELEZNÝCH KOVŮ .....	19
1.5 PRÁŠKY (PRÁŠKOVÁ METALURGIE) .....	19
1.6 KOVOVÝ ODPAD.....	20
1.7 NEKOVOVÉ MATERIÁLY .....	20
1.7.1 Anorganické materiály .....	20
1.7.2 Organické materiály .....	21
2. VLASTNOSTI A ZKOUŠKY MATERIÁLŮ .....	24
2.1 VLASTNOSTI MATERIÁLŮ .....	24
2.2 ZKOUŠKY MATERIÁLU .....	25
2.2.1 Zkouška pevnosti v tahu (trhací zkouška) .....	28
2.2.2 Zkoušky tvrdosti .....	34
2.3 ODOLNOST PROTI KOROZI .....	37
2.4 TECHNOLOGICKÉ VLASTNOSTI.....	37
2.4.1 Tvárnost .....	37
2.4.2 Svařitelnost .....	40
2.4.3 Obrobitelnost .....	40
2.4.4 Slévateľnosť.....	40
2.4.5 Odolnosť proti opotrebení .....	41
2.4.6 Jiskrové zkoušky.....	41
2.5 ZKOUŠKY BEZ PORUŠENÍ MATERIÁLU.....	42
2.5.1 Zjišťování vad na povrchu materiálu.....	42
2.5.2 Zjišťování neviditelných vnitřních vad materiálu .....	43
3. TEPELNÉ A CHEMICKO – TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ KOVOVÝCH MATERIÁLŮ.....	48
3.1 TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ .....	48
3.1.1 Žihání.....	48
3.1.2 Kalení.....	49
3.1.3 Popouštění .....	50
3.1.4 Zušlechťování .....	50
3.2 CHEMICKO – TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ .....	50
3.2.1 Cementování .....	50
3.2.2 Nitridování.....	51
3.2.3 Nitrocementování .....	51
3.2.4 Carbonitridování .....	51
3.2.5 Sulfonitridování .....	51
3.2.6 Boridování .....	51
4. POUŽITÁ LITERATURA: .....	52

# **1. Strojírenské materiály**

Konstruktor, který navrhuje strojní součást, určuje kromě velikosti a tvaru také druh materiálu. Při volbě materiálů bude rozhodovat druh a velikost namáhání, jemuž je součást vystavena, a to jak v průřezu, tak na povrchu. Povrch součástí je namáhán třením, které vyvolávají tlaky na povrch součásti, a vlivy prostředí, ve kterém plní svou funkci (voda, pára, chemické látky...). Často ovlivní volbu materiálu i teplota prostředí, ve kterém součást pracuje, protože mění jeho mechanické a jiné vlastnosti.

Při volbě materiálu musíme uvažovat souhrnné působení všech provozních podmínek na chování navrhované součásti jako celku:

- mechanická pevnost
- deformace
- kluznost, otěruvzdornost, schopnost útlumu rázů a tepelná vodivost (u pohybujících se součástí)
- elektroizolační a dielektrické vlastnosti
- chemická odolnost (při vyšší teplotě se obvykle zhoršuje)
- tepelná odolnost
- tvarová stálost
- odolnost proti stárnutí a povětrnostním vlivům
- odolnost proti hoření

Strojní součásti se vyrábějí z technických materiálů, které lze rozdělit na:

a) technické kovy

- technické železo
  - oceli
    - k tváření
    - na odlitky
  - litiny
    - šedé (tvárné)
    - bílé (temperované)
- neželezné kovy
  - těžké
  - lehké

b) nekovové materiály

- anorganické
  - přírodní (diamant, azbest, grafit)
  - umělé (sklo, keramika, kamenina)
- organické
  - přírodní (dřevo, korek, kůže, textilie)
  - umělé
    - (pryž, papír)
    - (plastomery, duromery, elastomery)

Pro volbu vhodného materiálu jsou rozhodující jeho vlastnosti ve vztahu k provozním podmínkám, funkci a způsobu výroby součásti.

**Metalografie** je nauka, která se zabývá pozorováním a zkoumáním vnitřní stavby (struktury) kovů a slitin. Stanoví, jak tato stavba souvisí s chemickým složením, teplotou a tepelným nebo mechanickým zpracováním.

## ***Kovy a jejich slitiny***

Pojem kov se vztahuje na prvek, který má většinu z těchto vlastností:

1. Charakteristický lesk tj. vysokou odrazivost pro viditelné světlo.
2. Velkou tažnost a kujnost.
3. Velkou tepelnou a elektrickou vodivost.
4. Velký elektropozitivní charakter.

Mezi kovy a nekovy není přesná hranice. Některé prvky na hranici mezi kovy a nekovy mají vlastnosti obou skupin.

Čisté kovy se vyznačují malou pevností a velkou tvárností. Proto je nemůžeme, až na malé výjimky, v technické praxi použít. Abychom je mohli v dostatečné míře používat, musíme jim dát ty vlastnosti, které jim chybí – tj. potřebnou tvrdost, pevnost a houževnatost. Tyto vlastnosti získá kov tím, že k základnímu kovu přidáme jeden nebo více přísadových kovů nebo nekovů (tzv. legur). Tyto legovací prvky změny vlastnosti základního kovu – vytvořili jsme slitinu. Slitiny mohou vzniknout několika způsoby:

1. slitím dvou nebo více roztavených kovů,
2. rozpuštěním malých kousků tuhého přísadového kovu či nekovu ve velkém množství roztaveného kovu základního,
3. difúzí tak, že jeden kov ve stavu tuhém, obalený práškovým kovem druhým, žiháme, nebo že páry kovu nebo nekovu necháme působit na druhý kov za vysoké teploty.

Podle počtu složek dělíme slitiny na:

- podvojně (binární) – obsahují dvě složky
- potrojně (ternární) – obsahují tři složky
- počtverně (kvaternární) – obsahují čtyři složky
- komplexní – obsahují více než čtyři složky.

Charakteristickou vlastností slitin je, že všechny krystalizují. Skládají se z více nebo méně dokonalých krystalů. Jde-li o homogenní slitinu, obsahuje pouze krystaly jednoho druhu, heterogenní slitina je tvořena krystaly dvou a více druhů. Složky, které tvoří slitinu, nazýváme komponenty. Vlastnosti slitin se úplně liší od vlastností kovů, ze kterých vznikly.

Kovy jsou hojně průmyslově využívány pro svoje ojedinělé fyzikální vlastnosti a pro snadnou zpracovatelnost, vyskytují se převážně ve sloučeninách – rudách. Tzv. drahé kovy se však obvykle vyskytují v ryzí formě, protože tvoří sloučeniny pouze velmi obtížně.

Mezi známé kovy patří:

Antimon, baryum, beryllium, bismut, cer, cesium, cín, draslík, gallium, hliník, hořčík, chrom, indium, iridium, kadmium, kobalt, lanthan, lithium, mangan, měď, molybden, nikl, olovo, osmium, palladium, platina, rhodium, rtuť, rubidium, skandium, sodík, stříbro, stroncium, thalium, titan, uran, vanad, vápník, wolfram, yttrium, zinek, zlato, železo.

Materiály, které jsou složeny z atomů více kovů, se nazývají slitiny. Typickými slitinami, známými z běžného života, jsou např.:

Amalgámy

Alpaka

Bronz

- Dělovina

- Zvonovina

Dural

Mosaz

Ocel

**Polokovy** tvoří společně s kovy a nekovy tři hlavní skupiny chemických prvků. Rozdělení je prováděno s ohledem na vazebné a ionizační vlastnosti prvků. Jejich vlastnosti tvoří přechod mezi kovy a nekovy. Je velmi obtížné rozlišit kovy a nekovy, konvenčně se za polokovy považují polovodiče.

Seznam polokovů:

Bor (B)  
Křemík (Si)  
Germanium (Ge)  
Arsen (As)  
Antimon (Sb)  
Tellur (Te)  
Polonium (Po)  
Astat (At)

**Nekovy** jsou jedna ze tří skupin chemických prvků. Nekovy mají vysokou elektronegativitu, tzn., že jejich valenční elektrony jsou pevně poutány k atomu.

Mezi nekovy patří halogeny (fluor, chlor, brom, jód, astat), inertní plyny (helium, neon, argon, krypton, xenon, radon) a také tyto prvky:

Vodík (H)  
Uhlík (C)  
Dusík (N)  
Kyslík (O)  
Fosfor (P)  
Síra (S)  
Selen (Se)

Známe pouze 18 nekovů, zatímco kovů je známo více než osmdesát. Ale koncentrace nekovů na Zemi je podstatně vyšší než koncentrace kovů.

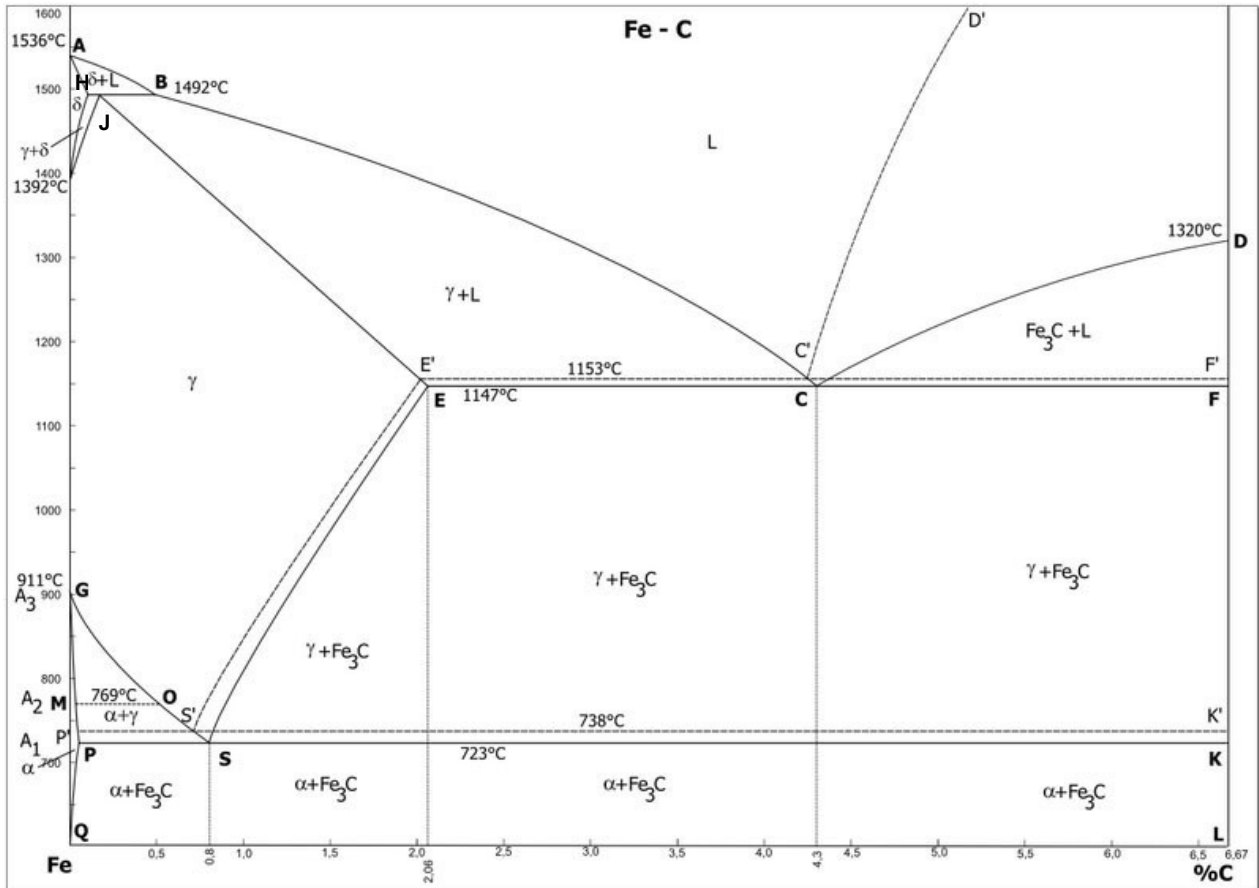
## 1.1 Technické železo

Z kovů a slitin používaných v technické praxi mají největší význam slitiny železa. Z celkové výroby všech kovů na ně připadá 95% a pouze 5% na ostatní kovy. Souhrnným názvem technické železo se označují všechny slitiny, ve kterých převládá prvek **Fe**. Technicky vyráběné železo není chemicky čisté, je to slitina železa s různými prvky, především s *C*, *Si*, *Mn*, *P*, *S*. Tyto prvky se dostávají do železa při jeho výrobě – prvky doprovodné. Některé z nich, jako *C*, *Si*, *Mn* mají do určité míry příznivý vliv na vlastnosti slitiny (prvky žádoucí), jiné, jako *P*, *S* mají vliv nepříznivý (prvky nežádoucí). Hlavní vliv na vlastnosti technického železa má však uhlík (C). Detailně je vliv uhlíku na železo znázorněn v diagramu Fe – Fe<sub>3</sub>C, Fe – C.

Technické železo se dělí podle obsahu uhlíku na:

- oceli ( $C \leq 2,14\%$ )
- litiny ( $C > 2,14\%$ )

Požadované složení je dosaženo vhodnými výrobními postupy v hutnictví.



Obr. 1 Diagram železo - uhlík

- |                |  |
|----------------|--|
| křivka likvidu | - ABCD   |
| křivka solidu  | - AHJECF   |
| tavenina       | - L  |
| ferit          | - $\alpha$ , $\beta$ , $\delta$ - tuhý roztok C v Fe |
| austenit       | - $\gamma$ - tuhý roztok C v Fe ( $\gamma$ )         |
| cementit       | - $\text{Fe}_3\text{C}$                              |
| perlit         | - slitina obsahující 0,8 hm. % C                     |
| ledeburit      | - slitina obsahující 4,3 hm. % C                     |

Železo v elementárním stavu se vyskytuje v přírodě jen velice zřídka. Železo (Fe) obsahuje vždy určité množství uhlíku (C). Koncentrace uhlíku určuje kvalitativní vlastnosti železa. Diagram železo – uhlík popisuje rovnovážný binární systém, ve kterém lze v závislosti na obsahu uhlíku a teplotě odečíst fázové a strukturní přeměny v železe.

Rovnovážný diagram je relevantní pouze při velmi pomalém ochlazení. Při větších rychlostech ochlazení je potom nutné použít diagramy IRA (izotermický rozpad austenitu) nebo ARA (anizotermický rozpad austenitu).

Uhlík je nejdůležitější legující prvek železa. Již malé změny jeho koncentrace mají velký vliv na vlastnosti materiálu. Podle formy vyloučení uhlíku rozeznáváme dva typy rovnovážného diagramu Fe –  $\text{Fe}_3\text{C}$ : **metastabilní** kde je uhlík vyloučen jako chemická sloučenina –  $\text{Fe}_3\text{C}$  (karbid železa) zvaný cementit nebo **stabilní** systém (čárkovaná linie), kde je uhlík vyloučen ve formě elementární tj. jako grafit.

Na ose **x** rovnovážného diagramu jsou naneseny koncentrace uhlíku. Na ose **y** je nanesena teplota ve °C. V diagramu je znázorněna pouze technicky relevantní část do obsahu uhlíku 6,67 %, což odpovídá 100 % obsahu cementitu Fe<sub>3</sub>C.

Linie ABCD tzv. **likvidus** linie. Nad touto linií se nachází pouze tavenina. Linie AHJECF představuje **solidus** linii. Pod touto linií existuje jen ztuhlá slitina. Mezi likvidem a solidem se nachází pásmo směsi taveniny a ztuhlého kovu.

Fázové modifikace jsou určeny uspořádáním atomů železa v atomové mřížce.

**Železo α** má atomovou mřížku kubickou prostorově centrovanou. Existuje pod teplotou 911°C (G). Fáze α je feromagnetická. Maximální rozpustnost uhlíku je 0,02 %.

**Železo γ** má atomovou mřížku kubickou plošně centrovanou. Existuje v intervalu teplot od 910°C do 1 400°C. Fáze γ je paramagnetická.

Metalografické názvy jednotlivých fází v Fe – C diagramu jsou následující:

**Tavenina** – je tekuté železo nad teplotou likvidu.

**δ Ferit** – je intersticiální tuhý roztok uhlíku v železe δ s atomovou mřížkou prostorově centrovanou. Maximální obsah C 0,105 % při 1 493°C.

**Austenit** – je intersticiální tuhý roztok uhlíku v železe γ (gama). Je to jedna ze strukturních složek slitin železa (ocelí i litin). Krystalizuje v krychlové plošně centrované (středěné) mřížce. Při tuhnutí se vyskytuje v rozmezí teplot 1 390°C – 898°C a při tavení 911°C – 1 394°C.

**Ferit** – je tuhý roztok uhlíku v železe α. Maximální rozpustnost C 0,02 % při 723°C.

Sloučenina uhlíku s železem, tzv. karbid železa známý jako cementit – Fe<sub>3</sub>C, není tuhý roztok ale tzv. *intermediální fáze*. Složení cementitu je vždy stejné, nemění se.

**Cementit** se vyskytuje v železných slitinách ve třech různých formách:

1. primární cementit – primární krystalizace z taveniny podle linie CD.
2. sekundární cementit – vyloučený z austenitu podle linie ES
3. terciární cementit – vyloučený z feritu podle linie PQ

Vedle těchto fází existují ještě smíšené fáze.

**Perlit (Fe)** – sestává z 88 % feritu a 12 % cementitu. Existuje při teplotách pod 723°C.

**Ledeburit** – sestává z 51,4 % austenitu/feritu a 48,6 % cementitu.

Pomocí popsaného rovnovážného diagramu Fe – C lze kupříkladu vysvětlit otázky, týkající se rozdílných vlastností ocelí – (obsah uhlíku < 2,14 % C) – a litiny (≥ 2,14 % C).

- Ocel je možno tvářet (kovat, válcovat, lisovat atd.), protože zde existuje široká oblast dobře tvařitelného *austenitu*. U litiny, kde je uhlík převážně vyloučen jako *grafit* nebo *ledeburit* je tvařitelnost velice nízká. Náhlý přechod z pevného stavu v taveninu je dalším důvodem.
- Tavicí teplota čistého železa je 1 536°C. Tuhnutí a začátek tavení oceli (linie A-H-J-E) a litiny (linie E-C-F) jsou značně rozdílné. Nízká teplota tavení litiny je jedna z příčin dobré slévatelnosti litiny.

## Legující prvky

Aby se zlepšily některé vlastnosti, jako např. zvýšila tvrdost a pevnost při vyhovující houževnatosti, zlepšila prokalitelnost, odolnost proti opotřebení a korozi apod., přidáváme do ocelí nebo litin úmyslně ještě některé další prvky. Jsou to prvky legovací a bývají v množství od několika setin procenta až po desítky procent. Podle významu a použití řadíme nejčastěji legovací prvky takto:

**Cr, Ni, Mn, Si, Mo, W, V, Co, Ti, Al, Cu, Nb, Zr, B.**

Vliv nejdůležitějších legovacích prvků na vlastnosti ocelí a litin:

Nikl	- zvětšuje houževnatost, prokalitelnost, u nezušlechtěných ocelí zvyšuje pevnost, je legurou u korozivzdorných a žáruvzdorných ocelí, v litině zjemňuje a zrovnoměňuje strukturu.
Mangan	- zvětšuje prokalitelnost, tvrdost, pevnost, je legurou ocelí korozivzdorných, žárovevných a odolných proti opotřebení, v litině zvětšuje tekutost, ve větším množství způsobuje zvyšování tvrdosti a křehkosti.
Chrom	- zvětšuje odolnost proti korozi, žáruvzdornost, prokalitelnost, pevnostní vlastnosti, odolnost proti opotřebení, v litině zvyšuje tvrdost.
Křemík	- zvyšuje odolnost proti oxidaci i za zvýšených teplot, u ocelí zvyšuje pevnostní vlastnosti, prokalitelnost, u litin zvyšuje tekutost, snižuje tažnost, tvárnost a svařitelnost.
Molybden	- zvyšuje prokalitelnost, mez tečení, odolnost proti korozi a opotřebení, vyvolává vytvrzení, v litině zvyšuje pevnost a zrovnoměňuje strukturu.
Wolfram	- zlepšuje prokalitelnost, odolnost proti ztrátě pevnosti při popouštění, odolnost proti opotřebení, vyvolává vytvrzení, zvyšuje žárupevnost.
Vanad	- zvětšuje prokalitelnost, odolnost proti ztrátě pevnosti při popouštění, vyvolává vytvrzení, zvyšuje tvrdost a žárupevnost.

Oceli tvoří dvě velké skupiny:

- oceli vhodné k tváření – válcováním nebo kování se tváří na vhodné výrobní polotovary
- oceli na odlitky – odlévají se do forem a tím se získá přímo polotovar odpovídající přibližně tvarem a rozměry hotovému výrobku

Dále se oceli dělí podle chemického složení na:

- uhlíkové
- slitinové

Z hlediska kvality jsou rozděleny na:

- oceli obvyklých vlastností
- oceli ušlechtilé



## 1.2 Neželezné kovy a jejich slitiny

Kromě technického železa se ve strojírenství, elektrotechnice a jiných průmyslových odvětvích používají neželezné kovy. Nejdůležitější jsou:

- měď
- hliník
- olovo
- cín
- hořčík
- nikl
- chrom

### 1.2.1 Těžké kovy:

Těžké kovy se dělí na:

- **neušlechtilé těžké kovy** (např.: měď, zinek, cín, olovo, nikl, chrom, kadmium, kobalt, wolfram, mangan, molybden, vanad, bismut, tantal, antimon, rtuť)
- **ušlechtilé kovy** (např.: zlato, stříbro, platina)

### Měď (Cu)

Měď se v přírodě nachází téměř výhradně chemicky vázaná v měděných rudách. Měď má načervenalou barvu, je dobrým tepelným a elektrickým vodičem. Obrobitelnost a slévateľnost mědi je špatná, dá se dobře pájet, je výborně tvárná za tepla i za studena, ke svařování se hodí jen ty druhy, které neobsahují kyslík. Měď je na vzduchu odolná proti korozi. Při delším skladování se na povrchu vytvoří matná, tmavá oxidační vrstva (oxid měďný), na vlhkém vzduchu se měď potáhne zelenou vrstvou karbonátu mědi  $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$  (měděnka), oxidující kyseliny, soli, síra, látky obsahující síru a amoniak měď napadají.

Z vyrobeného množství mědi se asi 40% používá v elektrotechnice a asi 40% jako slitiny (bronz, mosaz, alpaka, červený bronz), ostatní se spotřebuje při výrobě polotovarů – topné a várné trubky, plechy a topeniště, várné kotle, střešní krytina, střešní okapy, odtokové roury, pájedla.

Slitiny mědi jsou slitiny dvou nebo více legujících kovů (zinek, cín, nikl, hliník, železo, olovo).

Podle složení se rozlišují:

- slitiny mědi a zinku (mosaz)
- slitiny mědi a cínu (cínový bronz)
- slitiny mědi, niklu a zinku (různé druhy bronzu)
- slitiny mědi a niklu
- slitiny mědi a hliníku (hliníkový bronz)

### Mosaz

Mosaz je slitina mědi a zinku bez dalších legujících prvků, hodí se zvláště pro tváření za studena. Používá se na nástroje, nářadí, nábojnice, pouzdra, trubky pro kondenzátory a výměníky tepla, spirálové trubky, tlakové měřicí přístroje, šrouby, přítlačné válce, chladič pásy, zdrhovadla, duté výrobky, kuličková pera, patice žárovek.

### Bronz

Bronz je slitina mědi a cínu (cínový bronz). Používá se pro pružiny, zvláště pro elektrotechniku, kluzné části, pružná tělesa, spirálové trubky a pružné trubky pro tlakové

měřicí přístroje, membrány, síťový drát, zvuková tělesa, části pro chemický průmysl.

### **Zinek (Zn)**

Zinek má namodrale – bílou barvu, hoří při 500°C na vzduchu zeleně svítícím plamenem, dobře odolává atmosférickým vlivům, korozi, a také benzínu, oleji a vodě. Na vzduchu se potáhne matně šedou, později bělavou vrstvou oxidu, která chrání kov před další oxidací. Kyseliny a louhy zinek rozpouštějí. Zinek má velkou tepelnou roztažnost, je dobrým elektrickým vodičem a velmi dobře se odlévá, je ale značně křehký. Používá se na plechy, pásy a dráty, pozinkování povrchů, galvanické povlaky, termické nástřiky zinku a jako legující materiál (střešní plechové krytiny z ocelového pozinkovaného plechu, žlaby, vodovodní a plynoinstalační materiál, dřezy, hrnce, kotle). Zinek má schopnost difundovat v tekutém stavu do železa, a tím s ním vytvořit velmi pevné spojení, proto je výhodné zinkování, což je v podstatě máčení ocelových předmětů do roztavené zinkové lázně, žárovým stříkáním – metalizací, difúzí za vyšších teplot, galvanickým vyloučením z roztoku síranů nebo kyanidů, nátěry s vysokým obsahem zinku.

Slitiny zinku jsou lépe zpracovatelné a mají vyšší pevnost než čistý zinek, leguje se především hliníkem a mědí. Nejdůležitější vlastnost zinku a jeho slitin je, že je velmi lehce tekutý a při lítí pod tlakem vyplňuje i složité formy.

### **Cín (Sn)**

Cín je bílý kov s krystalickou strukturou na lomové ploše. Cín je velmi odolný proti atmosférickým vlivům, ale ne proti kyselinám a louhům. Používá se jako legující kov pro ložiskové kovy a pájky, jako antikorozní ochrana plechů a trubek, jako obalový materiál (staniol), v potravinářském průmyslu pro tuby a konzervy, k výrobě uměleckých, kuchyňských a spotřebních předmětů a k pocínování. Není jedovatý, je možno jej používat na předměty přicházející do styku s potravinami. U cínových součástí se můžeme setkat s tzv. cínovým morem. (**Cínový mor** je samovolný fyzikální proces, při kterém se kovový cín mění na práškovou šedou formu (rekrytalizace). Může vzniknout při vystavení kovu nízkým teplotám (už pod 13,2°C) a je „nakažlivý“ – přenáší se mezi předměty navzájem, lze jej zastavit jen zahřátím materiálu nad 20°C a udržováním této teploty.)

### **Olovo (Pb)**

Čisté olovo má modrošedou barvu. Olovo je měkké, dobře tavitelné, pájitelné a svařitelné, dobře se tváří za tepla i za studena. Na vzduchu se olovo povléká oxidační vrstvou, která chrání kov před další oxidací. Olovo je velmi odolné proti korozi, stálé ve většině kyselin, proti lučavce královské (směs kyseliny solné a dusičné) je nestálé. Olovo nepropouští rentgenové paprsky.

Čisté olovo se používá pro střešní krytinu, zásobníky kyselin, obal kabelů, těsnicí pásy, jako olověné střely, ochrana proti záření, na pájky pro měkké pájení a jako legující kov. Olovo taje při 327°C a kolem 700°C se vypařuje. Jeho páry jsou velmi jedovaté a stejně jako samotný kov mohou způsobit otravy v dýchacích nebo zažívacích orgánech, také při zacházení s olovnatými slitinami je třeba dodržovat zvláštní předpisy, protože jsou jedovaté.

Slitiny olova se používají jako ložiskový kov, akumulátorové desky apod.

### **Rtuť (Hg)**

Rtuť je stříbrný, kovově lesklý, tekutý, prudce jedovatý kov, známý mnohostranným využitím v měřicí technice a elektrotechnice. Málo podléhá oxidaci, snadno však rozpouští jiné kovy, čímž mění své původní vlastnosti. Mechanické nečistoty vniklé do rtuti se odstraní přefiltrováním přes papír s propíchanými otvory. Ohřátím na 120 až 150°C se zbaví rtuť vody a vzduchu. Rtuť se vypařuje i za normální teploty a její páry způsobí těžkou otravu. Při styku

s kovy (měď, stříbro) má snahu tvořit amalgámy a snadno tím původní kovy znehodnotí. Při jakékoliv práci se rtutí dbáme o náležité větrání pracovního prostoru.

### **Wolfram (W)**

Wolfram je bílý, ze všech nejpevnější těžkotavitelný kov. Vyrábějí se z něj pružiny, vlákna žárovek, slinutý karbid wolframu je velmi tvrdý kov na nástroje pro obrábění.

### **Stříbro (Ag)**

Stříbro je měkký kov rozpustný v kyselině dusičné. Nejlépe ze všech kovů odráží viditelné paprsky, proto se používá při výrobě zrcadel. V sirném prostředí černá – jeho povrch se potahuje sírníkem stříbrným. Je to výborný materiál na kontakty, velké uplatnění nachází v galvanice, v optice i jako pájka pro tvrdé pájení kovů.

### **Zlato (Au)**

Zlato je měkký, žlutý, chemicky odolný kov, rozpustný v lučavce královské, s rtutí tvoří amalgám. Je málo odolné proti otěru, podobně jako stříbro ho lze tepat do tenkých fólií. Pro jeho vysokou cenu se v praxi vyskytuje pouze v malém množství buď v tenkých galvanických vrstvách, nebo ve slitinách. Ryzost zlata je udávána v karátech.

24 karátů – 100 % zlata

18 karátů – 75 % zlata, zbytek ve slitině tvoří měď, stříbro nebo nikl

14 karátů – 58,5 % zlata, zbytek ve slitině tvoří měď, stříbro nebo nikl

Větší využití zlata je v klenotnictví, zdravotnictví a přesné mechanice.

### **Platina (Pt)**

Platina je stříbrolesklý kov, v běžné praxi se s ním nesetkáváme, vyskytuje se v laboratorní technice, u některých speciálních přístrojů a v elektrolýze.

## **1.2.2 Lehké kovy:**

K lehkým kovům patří např. lithium, draslík, sodík, rubidium, vápník, hořčík, beryllium, cesium, stroncium, hliník a titan.

### **Hliník (Al)**

V přírodě se hliník v čisté formě nevyskytuje. Minerál s největším obsahem hliníku je bauxit. Z bauxitu se nejprve získává čistý oxid hlinitý  $Al_2O_3$ , potom se z něho pomocí elektrolýzy odebírá kyslík a vyrábí elektrolytický hliník, který se taví a odlévá na polotovary hliníku. Hliník je velmi dobrý tepelný a elektrický vodič, není magnetický a je dobrým nosičem tepla (zpětně vyzařuje teplo). Po stříbře a mědi je nejlepším elektrickým vodičem. Obrobitelnost hliníku není příliš dobrá, hliník je dobře svařitelný – svařování pod ochrannou atmosférou. Hlavní oblast použití hliníku je výroba přístrojů a nástrojů, zásobníky, výroba kuchyňského nádobí, skladovací a přepravovací nádrže pro chemický, lékařský a potravinářský průmysl, střešní krytiny, obaly, obložení, plátované vrstvy (nanesení hliníkových fólií na ocel), barevné nátěry. V elektronice nachází hliník uplatnění jako vodič pro kondenzátory, kabely a opláštění kabelů.

Hliníkové slitiny se skládají z malého množství Mg (hořčík), Cu, Mn (mangan), Si, Zn, Ni, Cr aj., čímž se zlepšuje jejich pevnost, zhoršuje se elektrická vodivost a v mnoha případech odolnost proti korozi, dají se dobře tvářet za tepla i za studena. Hliníkové slitiny se používají pro konstrukční prvky střední až velmi vysoké pevnosti s dobrou odolností proti korozi, pro architekturu, stavebnictví, strojírenství, hornictví, stavbu lodí, výrobu přístrojů, vozidel,

konstrukcí a nádrží, pro letecký, textilní a potravinářský průmysl, sportovní zboží, šrouby, nýty.

### **Hořčík (Mg)**

Hořčík je nejlehčí kov, získává se z rud – magnezit, dolomit, carnallit – elektrolýzou. Čistý hořčík je stříbrně bílý, je dobrým tepelným a elektrickým vodičem, lehce hoří, je málo odolný proti korozi, je dobře obrobitelný, dobře se tváří za tepla a odlévá. Hořčík se používá mimo jiné v pyrotechnice. Hořící hořčík je třeba hasit pískem, protože voda podporuje jeho hoření (vysoká teplota plamene rozkládá vodu na kyslík a traskavý vodík, který požár podporuje). V čistém stavu je hořčík prudce vznětlivý, proto se vyskytuje pouze ve slitinách, známých pod označením elektron. I při obrábění elektronu je třeba velké opatrnosti, protože drobné třísky se snadno vznítí.

Slitiny hořčíku se skládají z hořčíku a legujících prvků jako mangan (Mn), hliník (Al), zinek (Zn) a jiné. Slitiny hořčíku mají výborné konstrukční vlastnosti, jsou nejlehčí kovové materiály. Používají se na plechy, trubky, tyče, profily, pro části motorů, disky kol, kryty dmýchacích zařízení, přístrojové desky, kamery a jiné díly, které musí být lehké. Slitiny hořčíku mají špatnou odolnost proti korozivním vlivům vlhkého vzduchu a vody, odolávají benzínu, olejům a některé slitiny i alkáliím. Dobrou ochranou je chromování.

### **Titan (Ti)**

Čistý titan má pevnost podobnou oceli, je odolný proti korozi, dobře svařitelný, dobře se tváří, je žáruvzdorný a má značně vysokou mez únavy při střídavém namáhání. Titan se používá jako legovací prvek při výrobě nástrojových ocelí a jako karbid titanu k výrobě slinutého karbidu.

Slitiny titanu se pevností vyrovnají oceli, jejich hmotnost je podstatně nižší, odolnost titanu proti korozi někdy předčí i korozivzdorné oceli. Legující prvky ve slitinách titanu jsou hliník (Al), cín (Sn), molybden (Mo), vanad (V), chrom (Cr), železo (Fe), mangan (Mn). Slitiny titanu se používají pro svou odolnost v chemické výrobě.

**Tabulka 1** Přehled základních technických kovů

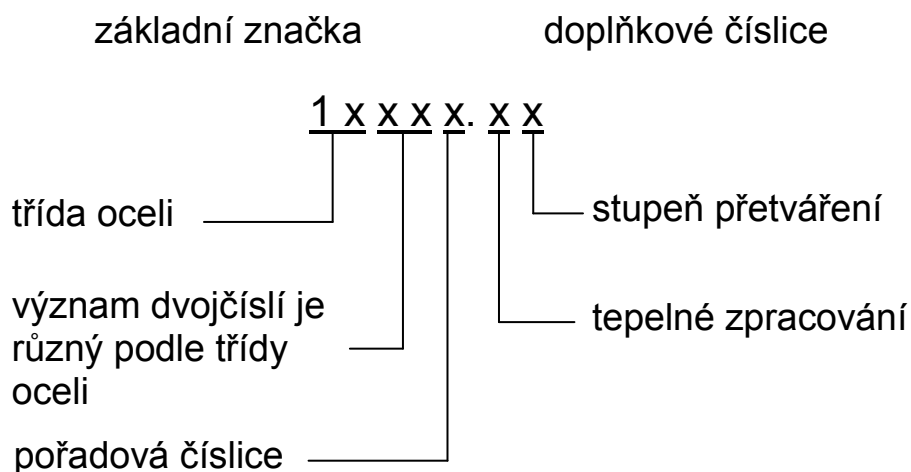
kov		chemická značka	teplota tání (°C)	měrná hmotnost (kg.m <sup>-1</sup> )	R <sub>m</sub> – mez kluzu materiálu (MPa)	R <sub>e</sub> – mez pevnosti materiálu (MPa)	HV tvrdost
nízkotavitelné	cín	Sn	231,9	7 298	20		4 – 5
	olovo	Pb	327,4	11 340	14		3 – 4
	zinek	Zn	419,4	7 136	130		33
	kadmium	Cd	321	8 650	70		22
	vismut	Bi	271,3	9 800			7
	antimon	Sb	630,5	6 620	11		30 – 50
lehké	hliník - měkký - polotvrký - tvrdý	Al	660,2	2669	70 100 130	15 70 110	20 28 38
	hořčík - litý - tvářený a žíhaný	Mg	650	1740	90 190	25 95	30 40
	berylium	Be	1285	1840			
	titan	Ti	1668	4500	340	250	120
	měď - měkká - polotvrdá - tvrdá	Cu	1083	8940	200 250 300	60 100 200	45 – 70 65 – 80 80 – 95
o střední teplotě tání	nikl - litý - tvářený a žíhaný	Ni	1453	8900	350 – 420 500 – 550	140 – 210 190 – 240	60 – 80 90 – 110
	kobalt	Co	1 493	8 900	280		125
	mangan	Mn	1 244	7400			
	ušlechtilé	stříbro	Ag	960,5	10 490	189	
zlato		Au	1 063	19320	110		18,5
platina		Pt	1 773,5	21 450	140		40 – 50
paladium		Pd	1 552	12 000			
iridium		Ir	2 443	22 600			
osmium		Os	2 900 – 3 000	22 600			
vysokotavitelné	zirkonium	Zr	1 860	6 500	350	140	
	niob	Nb	2 415	8 750	270		
	molybden	Mo	2 610	10 200	750	150	
	tantal	Ta	3 000	16 600	350	45	
	wolfram	W	3 345	19 320	1 000 – 4 200		

### 1.3 Značení kovových materiálů

Kovové i nekovové materiály se značí podle norem – ČSN v tuzemsku, při styku se zahraničím je nutno používat evropské normy.

#### 1.3.1 Značení podle ČSN

**Oceli k tváření** se značí podle ČSN 42 0002.



Doplňkové číslice jsou od základní značky odděleny tečkou. První označuje konečný stav oceli (výsledné tepelné zpracování), druhá udává konečný stupeň přetváření. Oceli k tváření se rozdělují podle chemického složení do devíti tříd (první dvojčíslí).

10	11	12	13	14	15	16	17	19
obvyklé jakosti					ušlechtilé			
uhlíkové					slitinové			uhlíkové slitinové
		konstrukční						nástrojové

**Oceli třídy 10** jsou konstrukční, obvyklých jakostí. Nemají zaručeno ani chemické složení, ani obsah nečistot. Z mechanických vlastností se zaručuje mez pevnosti a tažnost, nelámavost za studena a za tepla, u některých druhů také mez kluzu. Uplatňují se především ve stavebnictví jako oceli betonářské a na stavební konstrukce, nepoužívají se pro výrobu strojních součástí.

**Oceli třídy 11** jsou rovněž konstrukční, obvyklých jakostí, mají zaručený jen maximální obsah uhlíku, fosforu a síry, dále mez pevnosti, mez kluzu a některé technologické vlastnosti jako obrobitelnost, svařitelnost a tvárnost za studena. Jsou vhodné pro výrobu běžných součástí, které jsou namáhány staticky nebo dynamicky.

**Oceli třídy 12 až 17** jsou konstrukční, ušlechtilé, se zaručeným chemickým složením, mechanickými, chemickými a případně zvláštními vlastnostmi. Jsou zpravidla dále tepelně nebo chemicko – tepelně zpracovávány. Jsou vhodné pro výrobu staticky a dynamicky

namáhaných strojních součástí, které mají mít speciální vlastnosti, např. odolnost proti opotřebení, korozi a žáru.

**Oceli třídy 19** jsou uhlíkové a slitinové nástrojové. Používají se na řezné nástroje, ruční nářadí, měřidla a licí formy, tvářecí nástroje apod. Vyznačují se vysokou pevností, tvrdostí, odolností proti opotřebení, malými deformacemi pro kalení a stálostí rozměrů.

Informace závislá na třídě oceli:

**Tabulka 2** Význam druhého dvojčíslí:

třidu oceli 10	přibližnou mez pevnosti v tahu v desítkách MPa
třidu oceli 11	přibližnou mez pevnosti v tahu v desítkách MPa u oceli se zlepšenou obrobiteľností (automatové oceli) platí výjimka v označování, kde třetí číslice v základní značce je vždy 1 čtvrtá číslice udává střední obsah uhlíku v desetinách % (např. 11 107, 11 110, 11 112)
třidu oceli 12	třetí číslice v základní značce je vždy 0 (obsah jednotlivých legur je pod stanovenou hranicí) čtvrtá číslice udává střední obsah uhlíku v desetinách %
třidu oceli 13 až 16	třetí číslice v základní značce udává součet středních obsahů legujících prvků v % čtvrtá číslice udává střední obsah uhlíku v desetinách %
třidu oceli 17	třetí číslice v základní značce udává legující prvek nebo skupinu hlavních legujících prvků čtvrtá číslice udává stupeň bohatosti přísad
třidu oceli 19	třetí číslice v základní značce: 0, 1, 2 – určuje nelegované oceli, 3 až 9 – určuje typ legování ocelí legovaných čtvrtá číslice udává pro oceli: uhlíkové – společně s třetí číslicí charakterizuje obsah C legované – pořadové číslo

**Tabulka 3** Označení stavu oceli podle tepelného zpracování:

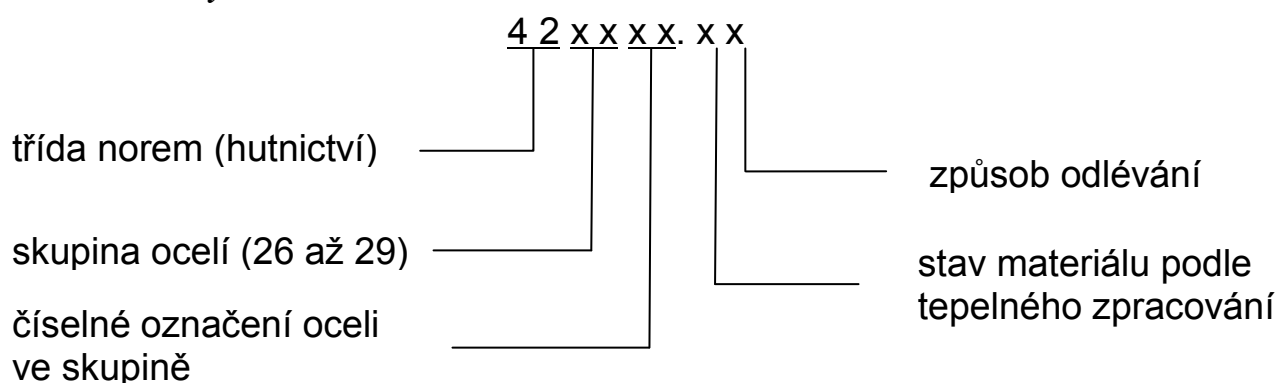
První číslice doplňkového čísla	Stav oceli, daný tepelným zpracováním
0	tepelně nezpracovaný
1	normalizačně žíhaný
2	žíhaný (s uvedením způsobu žíhání)
3	žíhaný na měkko
4	kalený nebo kalený a popouštěný
5	normalizačně žíhaný a popouštěný
6	zušlechťený na dolní pevnost obvyklou příslušné oceli
7	zušlechťený na střední pevnost obvyklou příslušné oceli
8	zušlechťený na horní pevnost obvyklou příslušné oceli
9	stav, který nelze označit číslicí 0 – 8

**Tabulka 4** Stupeň přetváření plechů a pásů

Druhá číslice doplňkového čísla	Stupeň přetváření plechů a pásů
0	dále nepřeválcováno
1	lehce převálcováno
2	1/4 tvrdý
3	1/2 tvrdý
4	3/4 tvrdý
5	4/4 tvrdý
6	5/5 tvrdý
7	stupeň přetváření, při němž se netvoří čtyřlístky
8	zpracování dle zvláštního předpisu
9	zpracování dle dohodnutého předpisu

**Slitiny železa na odlitky** se značí podle ČSN 42 0006 (slitina železa je slitina, jejíž základní složkou je železo).

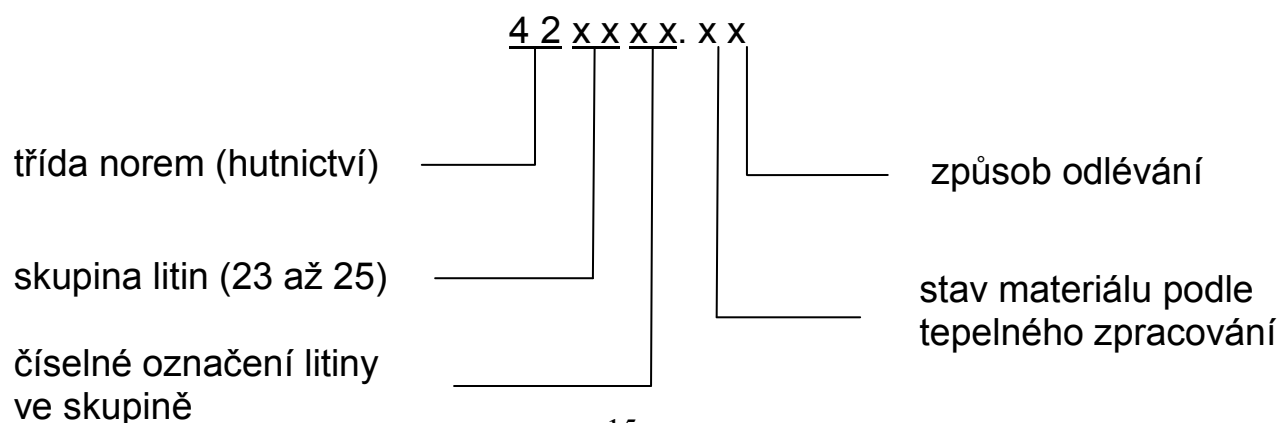
**Oceli na odlitky:**



Oceli na odlitky se podobají ocelím k tváření. Nejčastěji se užívá uhlíkových, s obsahem uhlíku jen výjimečně přesahujícím 0,5%. Surové odlitky mají hrubou a nepravidelnou strukturu a při odlévání se v nich mohou vyskytnout skryté vady.

**Litiny:**

Litiny se označují stejně jako oceli na odlitky, s tím rozdílem, že druhé dvojčíslí označuje druh litiny čísly 23, 24, 25. Přesněji znamená 23 – tvárná litina, 24 – šedé litiny a zvláštní slitiny železa, 25 – bílé, tvrzené a temperované litiny.





Používají se k výrobě méně namáhaných a tvarově složitých strojních součástí. Zvláště vhodná je v těchto případech šedá litina, která je levná a běžně dostupná, snadno se odlévá a obrábí, má dobré třecí vlastnosti a je odolná proti opotřebení. Litiny tvárné jsou na rozdíl od šedé litiny houževnaté. Jsou proto vhodné i pro součásti více zatížené a to i dynamicky. Temperovaná litina je houževnatější než tvárná a je možno ji zařadit již mezi kujná železa. Její užití pokrývá oblast mezi šedou litinou a ocelí.

**Tabulka 5** Význam 2. dvojčíslí (zařazení slitin železa na odlitky do skupin třídy 42):

Skupina třídy 42	Druh slitin železa na odlitky
23	tvárné litiny
24	šedé litiny a zvláštní slitiny železa na odlitky
25	bílé, tvrzené a temperované litiny
26	nelegované (uhlíkové) oceli na odlitky
27	nízko a středně legované oceli na odlitky odlévané do pískových forem
28	nízko a středně legované oceli na odlitky odlévané jinak, než do pískových forem
29	vysokolegované oceli na odlitky

**Tabulka 6** Význam 3. dvojčíslí v číselném označení:

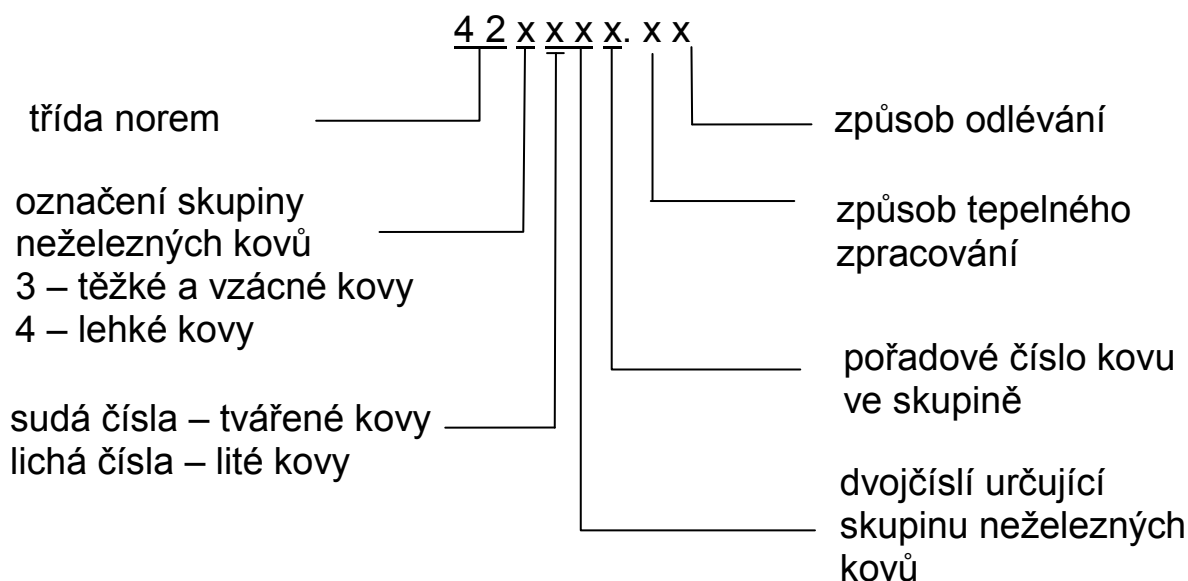
Skupina třídy 42	Význam 3. dvojčíslí v základním označení
23	přibližná mez pevnosti v tahu v desítkách MPa
24	přibližná mez pevnosti v tahu v desítkách MPa
25	přibližná mez pevnosti v tahu v desítkách MPa
26	přibližná mez pevnosti v tahu v desítkách MPa
27	skupina přísadových prvků
28	skupina přísadových prvků
29	skupina přísadových prvků

*Význam 1. doplňkové číslice* je stejný jako u ocelí k tváření.

**Tabulka 7** Význam 2. doplňkové číslice v číselném označení:

druhá doplňková číslice	způsob odlévání odlitků ze slitin železa
0	do pískových forem
1	staticky do kovových forem kokil
2	odstředivě
3	pod tlakem
4	přesným litím
5	do skořepinových forem
6 až 8	neobsazeno
9	zvláštním způsobem (jinak než 0 až 5)

Neželezné kovy se značí podle ČSN 42 0055:



### 1.3.2 Systém označování podle ČSN EN 10027-1

Oceli jsou rozděleny do 11 skupin, označování je složeno z písmena a čísel:



#### Tabulka 15

Značky vytvořené na základě použití a mechanických nebo fyzikálních vlastností:

Symbol	Použití oceli pro:
S	Konstrukční oceli
P	Oceli na tlakové nádoby a zařízení
L	Oceli na potrubí
E	Oceli na strojní součásti
B	Oceli na výztuž do betonu
Y	Oceli na přepínací výztuž do betonu
R	Oceli na kolejnice
D	Ploché výrobky k tváření za studena kromě skupiny označené H
H	Ploché výrobky válcované za studena z oceli s vyšší mezí kluzu určené k tváření za studena
T	Tenké a pocínované plechy a pásy, pochromované plechy a pásy
M	Plechy a pásy pro elektrotechniku

Číslo za písmenem vyjadřuje minimální mez kluzu v MPa (u ocelí S, P, L, E, B), minimální pevnost v tahu (u ocelí H, D, R).

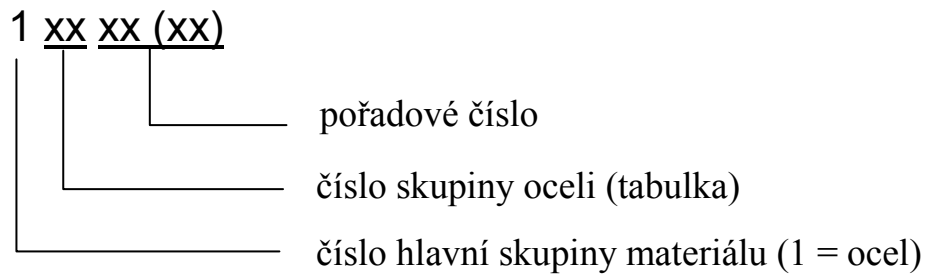
Značky vytvořené podle chemického složení ocelí:

C – nelegované oceli

X – legované oceli

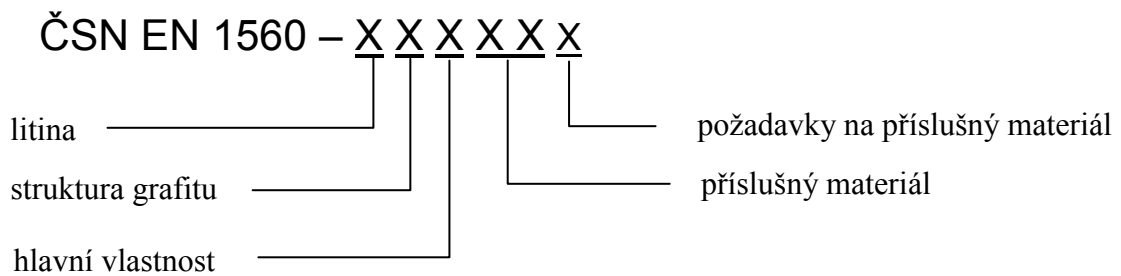
HS – rychlořezné oceli

### 1.3.3 Systém číselného označování podle ČSN EN 10027–2

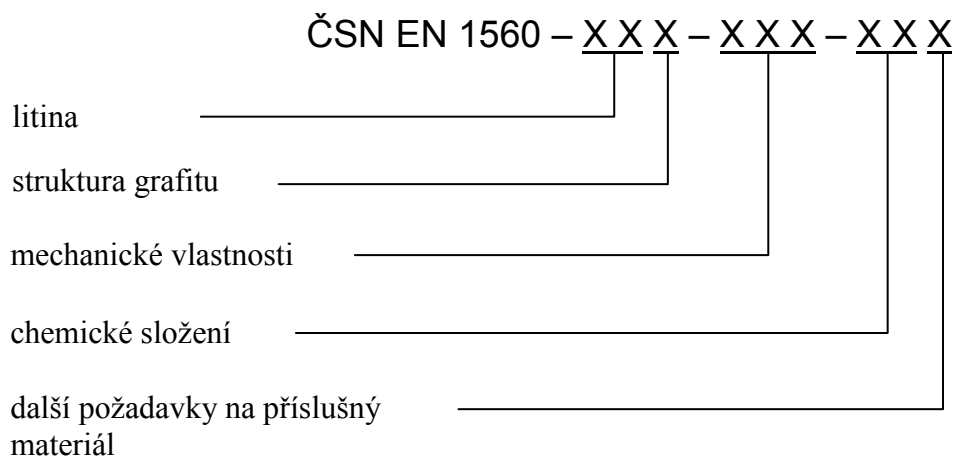


### 1.3.4 Značení podle ČSN EN 1560

Značení čísla:



Značení zkratkami:



Další značení kovových materiálu je podle DIN (např. DIN WNr. 1.0035) POLDI a ASTM. Je snaha o porovnání ocelí značených dle různých norem, proto jsou na základě chemického složení vypracovány převodní tabulky.

#### 1.4 Speciální slitiny neželezných kovů

Ke skupině neželezných slitin patří ještě slitiny, které mají zcela jednoznačné použití. Jsou to slitiny pro kluzná ložiska a pájky.

Pro kluzná ložiska se používá dvou typů slitin (těžkotavitelné a lehkotavitelné slitiny).

K první skupině patří bronzы (cínové, olovené a červené), mají širší použití. Kromě těchto slitin jsou slitiny používané výhradně na ložiska, jsou to tzv. **kompozice**. Základním kovem je cín nebo olovo s cínem. Slouží k vylévání ložisek pro velké rychlosti a tlaky do 12 MPa. Dělíme je na **kompozice cínové** (cín (Sn), antimon (Sb), měď (Cu)) a **olovené** (olovo (Pb), cín (Sn), antimon (Sb), měď (Cu)).

Pájky jsou slitiny neželezných kovů, kterých se používá v roztaveném stavu pro vytvoření nerozebíratelného spojení. Podle teploty tání rozlišujeme **pájky tvrdé** a **měkké**. Naše norma rozeznává **pájky cínové, hliníkové, mosazné, niklové, olovené a stříbrné**.

#### 1.5 Prášky (prášková metalurgie)

Prášková metalurgie se zabývá výrobou prášků čistých kovů, slitin a jejich zpracování tlakem a teplem na polotovary nebo hotové výrobky. Materiál se při tepelném zpracování netaví (teplota je nižší než teploty tání všech složek, nebo alespoň jejich podstatné části), zůstává ve stavu tuhém. Tento druh technologie se nazývá **slinování** nebo **spékání**. Vyrábějí se prášky všech technicky důležitějších kovů a jejich slitin, a to buď mechanicky (drcením, mletím, rozprašováním), nebo chemickou a fyzikálně chemickou redukcí. Zrna prášků musí mít určitou velikost a tvar.

Kovové prášky jsou normalizovány, rozděleny jsou podle chemického složení prášků. Označení jednotlivých jakostí je stejné jako u ocelí – pětimístným číslem a doplňkovou číslicí. První dvojčíslí je 18, další tři čísla určují blíže materiál prášků, doplňková číslice udává druh prášku podle zrnitosti. Číslo normy jakosti je číslo šestimístné, a je vytvořeno stejně jako u všech hutních materiálů předřazením značky ČSN a číslice 4 před číselnou značku (např. ČSN 41 80XX.X).

Metoda práškové metalurgie umožňuje výrobu kovů a slitin hutných i pórovitých, vzájemně nemísitelných nebo soustav kov – nekov.

Slinované materiály se uplatňují

- ❖ u kovů a slitin s vysokou tavící teplotou, které se obtížně taví nebo tváří (Mo, Ta, W,...)
- ❖ při výrobě pseudoslitin dvou a více kovů s rozdílnou teplotou tání (W – Cu, W – Ag,...)
- ❖ při výrobě materiálů, které jsou tvořeny kovy nebo nekovy
- ❖ při výrobě pórovitých materiálů (filtry, samomazná ložiska,...)
- ❖ při výrobě tvarových součástí a kovových materiálů, kde jde o snížení nákladů (ozubená kola, kroužky ložisek,...)
- ❖ při výrobě materiálů se zvýšenými požadavky (rychlořezné oceli pro nástroje, keramika,...)

## 1.6 Kovový odpad

Odpad železných i neželezných kovů je důležitou surovinou pro hutě a slévárny, proto se nesmí znehodnotit mícháním materiálů různého chemického složení nebo znečistit jinými materiály. Proto se odpad třídí. Největší význam má tzv. **zpracovatelský odpad**, který vzniká při zpracování kovů (třísky, odřezky a zmetky při obrábění, lisování aj.). Třídy odpadu se zapisují na výkres do popisového pole. Normy rozlišují ocelový a litinový odpad (ČSN 42 0030) a odpad neželezných kovů (ČSN 42 1331). Norma určuje způsob označování odpadu v technických podkladech.

**Ocelový a litinový odpad** se označuje pětímístným číslem, kde první tři číslice vyjadřují třídu odpadu, a čtvrtá a pátá číslice vyjadřuje druh odpadu, jako např. ocelové třísky, drobné výseky apod.

Schéma označení:

XXX	XX
třída	druh

V popisovém poli strojnických výkresů, v rubrice třída odpadu, se vyplňuje jen třída odpadu, druh odpadu se nevyplňuje. Číslo třídy odpadu se vyhledá v uvedené normě nebo materiálovém listě příslušné značky materiálu nebo v technických příručkách. Jsou to čísla 001 až 099 pro kovový odpad a čísla 211 až 247 pro litinový odpad.

**Odpad neželezných kovů** se na rozdíl od ocelového označuje číslem šestímístným. Tři čísla tvoří třídu a tři druh odpadu.

Schéma označení:

XXX	XXX
třída	druh

Neželezným kovům přísluší čísla tříd odpadu 311 až 912.

V popisovém poli strojnických výkresů, v rubrice třída odpadu, se vyplňuje jen třída odpadu, druh odpadu se nevyplňuje.

## 1.7 Nekovové materiály

Nekovové organické a anorganické materiály jsou pro některé své vlastnosti ve strojírenství a hutnictví nepostradatelné.

### 1.7.1 Anorganické materiály

lze rozdělit na přírodní a umělé.

Přírodní:

- ♦ minerály – diamant, korund, křemen, slída, azbest aj.
- ♦ horniny – břidlice, žula, čedič

většinou se využívají ve stavu, v jakém se nacházejí v přírodě, pouze se upravují na žádaný tvar. Využívá se jejich speciálních vlastností:

**diamant, korund, křemen, achát** – pro vysokou tvrdost jako brusiva nebo do speciálních ložisek přístrojů.

**slída, azbest** – žáruvzdorné materiály

**slída, vypálený mastek** – elektrické izolanty

**grafit** – elektrický vodič, výroba samomazných ložisek.

#### Umělé:

Mezi nejvýznamnější umělé anorganické materiály patří sklo a keramické hmoty.

**Sklo** je amorfní, homogenní křemičitanová hmota obsahující nejčastěji kolem 75 % kysličníku křemičitého a zbytek kysličníků alkalických kovů a vápna. Je chemicky značně odolné, dá se leptat kyselinou fluorovodíkovou. Uplatňuje se při výrobě optických a chemických přístrojů.

**Keramické hmoty** jsou pevné, tvrdé, žáruvzdorné a odolávají chemickým vlivům.

### 1.7.2 Organické materiály

#### Přírodní:

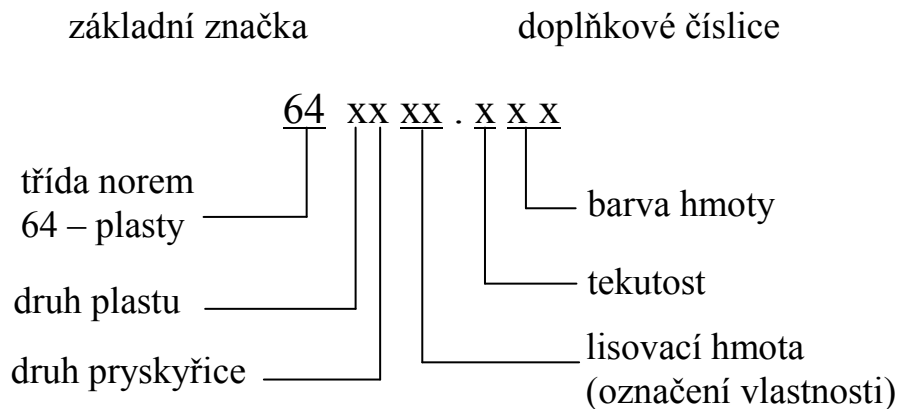
- ◆ **dřevo** – stavební materiál, papírenský průmysl, obalový materiál, dřevěné modely ve slévárnách, násady nástrojů, palivo... Dřevo je snadno obrobitelné a má vynikající mechanické vlastnosti, dřevo se dobře opracovává, spojuje i povrchově upravuje. Kromě uvedených výhod má dřevo i řadu nepříznivých vlastností. Na rozdíl od kovových materiálů, mění dřevo snadno samovolně své rozměry a měrnou tíhu při bobtnání a vysychání.
  - dřevo jehličnaté (není pórovité)
  - dřevo listnaté (je pórovité, nemá pryskyřičné kanálky)
    - tvrdé
    - měkké
  - dýhy a překližky
    - dýhy
    - překližky
    - laťovky
  - hmoty ze dřeva a dřevního odpadu
    - dřevoplast
    - dřevovláknité desky
    - hobra
    - lignátové desky
    - pilinové desky
    - sololit
- ◆ **kůže** – těsnění, kombinované ploché řemeny, ochranné oblečení
- ◆ **textilie a vlákna** – tažná lana, zpevnění v klínových řemenech, plochých řemenech, obložení, tkaniny ke zpevnění hadic, plachet, nafukovacích člunů, nepromokavých oděvů
- ◆ **korek** – izolační materiál, zátky, podlahových krytin (korkové dlaždice), stélky obuvi aj.

## Umělé:

- ◆ *papír*
- ◆ *celuloid*
- ◆ *vulkánfibr*
- ◆ *laminát (tvrzená tkanina)*
- ◆ *plastické hmoty* (plastomery, duromery, elastomery)

- *plastomery* (dříve termoplasty) jsou plastické hmoty tvárné teplem. Měknou působením tepla, tvrdnou při ochlazení a tato změna je vratná
- *duromery* (dříve termosety) jsou teplem tvrditelné plastické hmoty, z nichž se zhotovují výrobky lisováním ve formách při předepsané teplotě a tlaku, po vytvrzení se již působením tepla jejich vlastnosti nemění
- *elastomery* (např. technická pryž) mají vynikající elastické vlastnosti a jsou pro průmysl mimořádně významné: hadice, nárazníky, pružiny, tlumiče, těsnění, řemeny, pneumatiky, pružné spojky...

## Plasty



Plastické hmoty mají nízkou hmotnost, nízkou elektrickou a tepelnou vodivost, dobrou a někdy vynikající odolnost proti účinkům chemických látek a korozi. Další výhodou je lehká tavitelnost, přijatelná, mnohdy vysoká pevnost a snadná zpracovatelnost při nízkých výrobních nákladech, daných použitím levných a mnohdy i odpadových výrobních surovin.

Některé druhy plastických hmot:

- ❖ bakelit
- ❖ celofán
- ❖ celon
- ❖ celuloid
- ❖ dentakryl
- ❖ eternit
- ❖ galalit
- ❖ pertinax

- ❖ pěnový polystyrén
- ❖ plexisklo
- ❖ polystyrén
- ❖ polyvinylchlorid (PVC)
- ❖ silon
- ❖ teflon
- ❖ texgumoid

**Tabulka 9** Zkratky některých polymerů

<b>Zkratka</b>	<b>Typ</b>	<b>Polymer (Kopolymer)</b>
ABS	T	Akrylonitril-butadien-styren
CA	T	Acetát celulózy
CAB	T	Acetobutyrát celulózy
EP	D	Epoxidová pryskyřice
MF	D	Melaminoformaldehydová pryskyřice
PA	T	Polyamidy
PC	T	Polykarbonáty
PCTFE	T	Polychlortrifluorethylen
PE	T	Polyethylen
PF	D	Fenolformaldehydová pryskyřice
TFEP	T	Tetrafluorethylen-hexafluor-propylen
PIB	T, E	Polyisobutylen
PMMA	T	Polymethylmethakrylát
POM	T	Polyformaldehyd
PP	T	Polypropylen
PS	T	Polystyren
PTFE	T	Polytetrafluorethylen
PUR	D, T, E	Polyuretan
PVC	T	Polyvinylchlorid
SAN	T	Styren-akrylonitril
UF	D	Močovinoformaldehydová pryskyřice
UP	D	Nenasycené polyestery

T – termoplast, D – duroplast (reaktoplast), E – elastomer



## 2. Vlastnosti a zkoušky materiálů

### 2.1 Vlastnosti materiálů

Materiály se posuzují podle svých fyzikálních, chemických, mechanických a technologických vlastností.

#### **Fyzikální vlastnosti:**

**Hustota**  $\rho$  je dána poměrem hmotnosti  $m$  k objemu  $V$  homogenní látky při určité teplotě

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}; \text{kg}, \text{m}^3 \right)$$

**Teplota (bod) tání**  $\vartheta$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) a **tuhnutí** je teplota, při níž látka mění své skupenství.

**Teplota lití** bývá asi o 50 až 100 $^{\circ}\text{C}$  nad teplotou likvidu.

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

**Teplotná vodivost**  $\lambda$  (W/mK) je množství tepla  $Q$  (J), které při ustáleném stavu projde za jednotku času mezi dvěma protilehlými stěnami krychle o délce hrany 1 m, je-li rozdíl teplot mezi těmito stěnami 1 K. Nejlepším vodičem tepla je stříbro.

**Elektrická vodivost**  $G$  (S) je schopnost vést elektrický proud. Vodič s odporem 1  $\Omega$  má vodivost 1 S (siemens). Podle vodivosti dělíme materiály na **vodiče** a **nevodiče** neboli **izolanty**. Mezi nimi je skupina materiálů se zvláštními vlastnostmi, kterým říkáme **polovodiče** (např. selen, germanium, křemík apod.).

**Měrný elektrický odpor**  $\rho$  ( $\Omega\text{m}$ ) je veličina charakterizující schopnost vedení elektrického proudu. Nejlepším vodičem elektrického proudu je stříbro, po něm měď, hliník. Nejlepším izolantem by bylo dokonalé vakuum.

**Supravodivost** je vlastnost některých kovů, u kterých se při velmi nízkých teplotách (blízkých absolutní teplotní nule) skokem sníží elektrický odpor na neznámou hodnotu (elektrický proud prochází vodičem prakticky bez odporu).

**Magnetické vlastnosti** materiálů zjišťujeme z jejich chování v magnetickém poli.

#### **Chemické vlastnosti:**

- struktura látek (např. struktura a stavba atomů, vazba atomů)
- látkové sloučeniny (např. sloučeniny s kyslíkem, odolnost proti korozi, schopnost vytvářet slitiny)
- látková přeměna (např. při spalování)

#### **Mechanické vlastnosti:**

- pevnost, tažnost, křehkost, tvrdost
- vlastnosti nutné pro změnu tvaru (např. pružnost, plasticita)
- chování při vystavení vnějšímu namáhání (tah, tlak, ohyb, střih a krut)

#### **Technologické vlastnosti:**

- tvářitelnost
- slévatelnost
- svařitelnost
- obrobitelnost

## Zkoušení materiálů

Zkušební metody podle hlediska předmětu zkoušení:

- metody pro stanovení chemického složení materiálu
- metody hodnocení struktury (a mikrostruktury) materiálu
- mechanické zkoušky
- defektoskopické zkoušky
- zkoušky opotřebení (povrchových vlastností)
- technologické zkoušky
- zkoušky fyzikálních vlastností a fyzikálně-chemických vlastností

Zkoušky:

- s porušením materiálu
- bez porušení materiálu (defektoskopické zkoušky, zkoušky tvrdosti...)

Zkoušky:

- materiálu
- polotovaru
- součásti

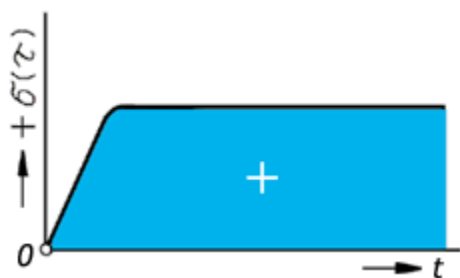
## 2.2 Zkoušky materiálu

Zkoušky materiálu mají informovat o chování technických materiálů při působení statického a dynamického provozního zatížení. Slouží také k určení tvrdosti, obrobitelnost, tažnosti, tvárnosti, svařitelnosti..., ale také ke kontrole výrobních vad.

Zatěžující silové účinky mohou působit trvale nebo jen dočasně, přičemž je třeba rozlišovat

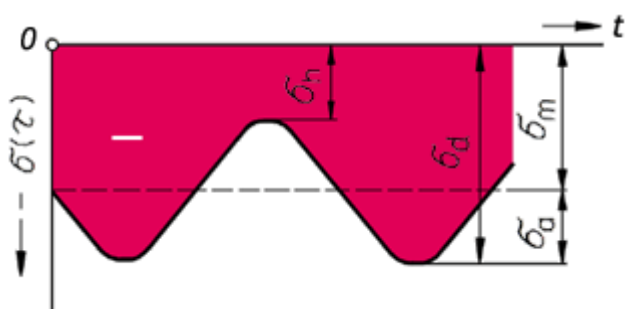
- **statické zatížení** – u něhož silový účinek roste tak pomalu, že je možno zrychlení a rychlost deformace považovat přibližně za nulové. Jakmile dosáhne zatížení konečné hodnoty, zůstává trvale konstantní.
- **dynamické zatížení** – u něhož je silový účinek proměnný v závislosti na čase. Je-li proměnlivost takového charakteru, že se po určité době přesně opakuje průběh změny síly, jedná se o periodické dynamické zatížení:
  - > pulzující napětí
  - > cyklické míjivé napětí
  - > cyklické souměrné napětí
  - > cyklické nesouměrné napětí

Životnost součásti při harmonickém zatížení je dána počtem kmitů až do únavového porušení.

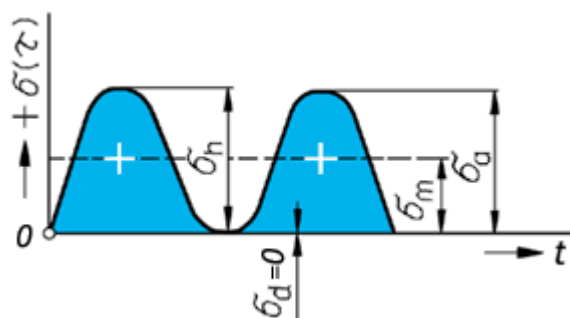


Statické klidné napětí

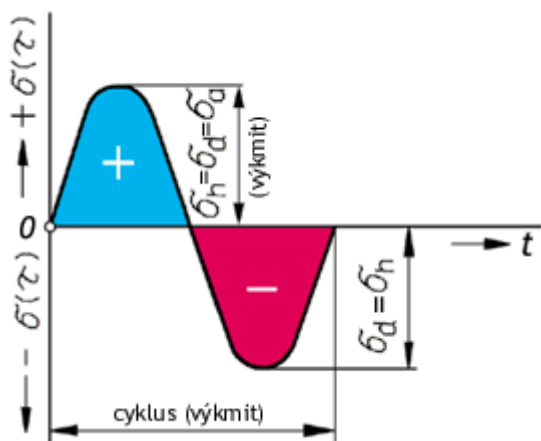
Průběhy proměnlivého zatížení:



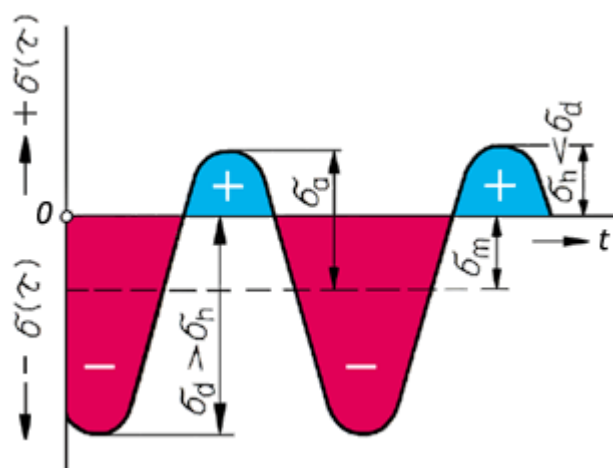
Pulzující (tepavé) napětí



Cyklické míjivé napětí



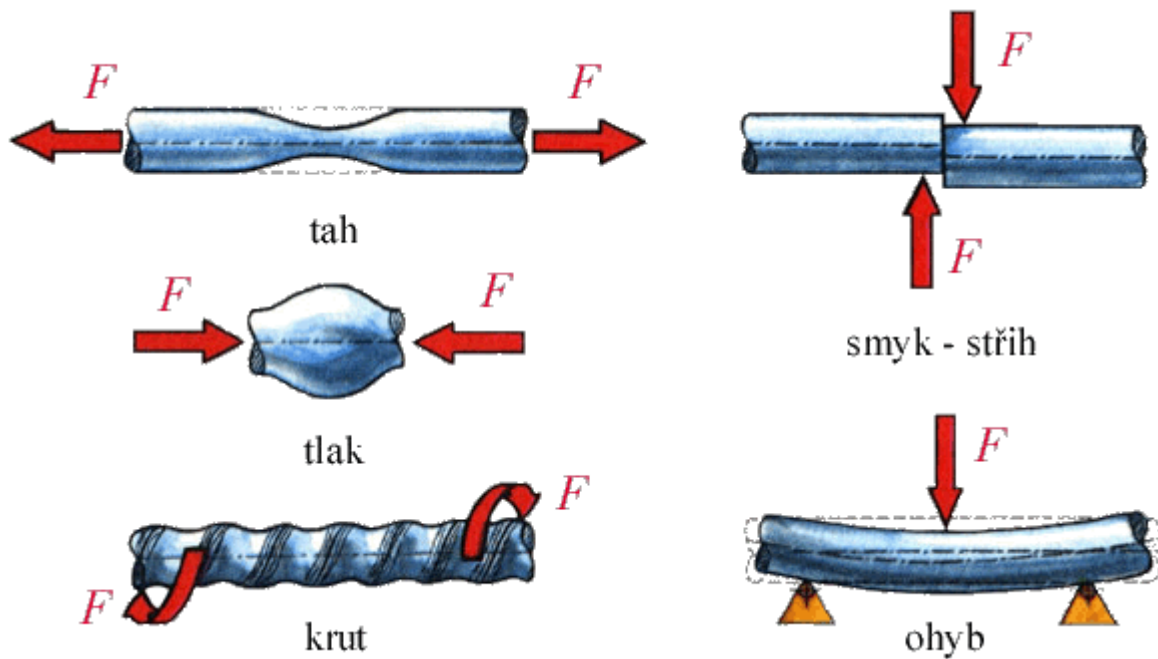
Cyklické souměrné napětí



Cyklické nesouměrné napětí

Obr. 2 Základní způsoby namáhání – průběhy napětí

Materiály jsou při zpracování i při používání vystaveny různému namáhání, jako je **tah**, **tlak**, **krut**, **střih** a **ohyb**. Tato jednotlivá namáhání obvykle nepůsobí samostatně (jednotlivě), ale v různých kombinacích. Materiál je tedy vystaven složenému namáhání.



Obr. 3 Základní druhy namáhání materiálu

Napětí vzniklé při jednotlivých způsobech namáhání:

**tah, tlak:**

$$\sigma = \frac{F}{S} \leq \sigma_{Dt}, \text{ kde} \quad F - \text{síla (N)}, \quad S - \text{průřez (mm}^2\text{)},$$

$\sigma_{Dt}$  – napětí dovolené v tahu (MPa)

**krut:**

$$\tau_{\max} = \frac{M_k}{W_k} \leq \tau_D, \text{ kde} \quad M_k = F \cdot \frac{d}{2} - \text{kroučicí moment,}$$

$\tau_D$  – napětí dovolené v krutu (MPa)  
 $W_k$  – průřezový modul v krutu (tvar vzorce je závislý na průřezu materiálu – uvedeno v tabulkách)

**střih:**

$$\tau_{\max} = \frac{F}{S} \leq \tau_D, \text{ kde} \quad F - \text{síla (N)}, \quad S - \text{průřez (mm}^2\text{)}$$

$\tau_D$  – napětí dovolené ve střihu (MPa)

ohyb:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_o}{W_{Omin}} \leq \sigma_D, \text{ kde } M_o = F \cdot l - \text{ohybový moment}$$

$\sigma_D$  – napětí dovolené v ohybu (MPa)

$W_o$  – průřezový modul v ohybu (tvar vzorce je závislý na průřezu materiálu – uvedeno v tabulkách)

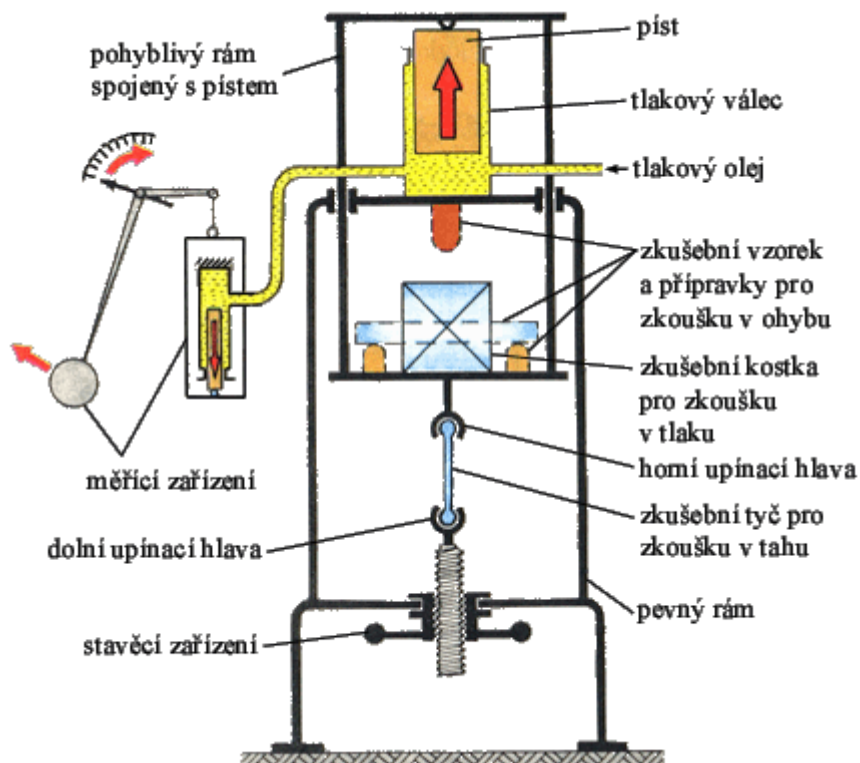
Aby materiál mohl odolávat těmto namáháním, musí mít určité vlastnosti, jako **pevnost, tvrdost, pružnost, tvárnost** aj. Tyto vlastnosti se zjišťují různými mechanicko – technologickými zkouškami.

Druhy zkoušek mechanických vlastností materiálů:

- statické zkoušky
- dynamické zkoušky rázové a cyklické
- zkoušky tvrdosti

### 2.2.1 Zkouška pevnosti v tahu (trhací zkouška)

Při zkoušce pevnosti v tahu se normalizovaný vzorek zatěžuje v **trhacím stroji** rostoucí tažnou silou a natahuje se až k přetržení, změří se průběh tažné síly a prodloužení materiálu.



Obr. 4 Schéma univerzálního trhacího stroje

Pomocí „trhací“ zkoušky se zjišťuje pevnost v tahu, mez kluzu a poměrné prodloužení materiálu.

**Pevnost v tahu** (mez pevnosti v tahu)  $\sigma_{Pt}$  je smluvní hodnota napětí daného podílem největší zatěžující síly  $F$ , kterou snese zkušební tyč, a původního průřezu tyče  $S_0$ :

$$\sigma_{rt} = \frac{F_{\max}}{S_0} \quad (\text{MPa; N, mm}^2)$$

Byla-li původní délka zkušební tyče  $l_0$  a délka zjištěná po přetržení  $l$ , je celkové prodloužení (změna délky):

$$\Delta = l - l_0 \quad (\text{mm})$$

**Poměrné prodloužení**  $\varepsilon$  je dáno poměrem změny délky  $\Delta l$  k původní délce zkušební tyče  $l_0$ :

$$\varepsilon = \frac{\Delta}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (-; \text{mm, mm})$$

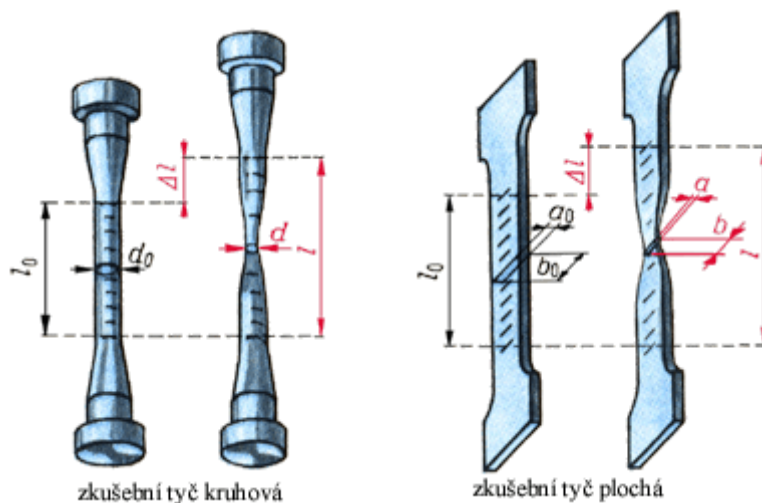
**Tažnost**  $\delta$  je poměrné prodloužení vyjádřené v procentech původní délky:

$$\delta = \frac{l - l_0}{l_0} \cdot 100 \quad (\%)$$

**Kontrakce** (zúžení průřezu)  $\psi$  je dána poměrem zúžení průřezu tyče po přetržení ( $S_0 - S$ ) k původnímu průřezu tyče  $S_0$ . Vyjadřujeme ji v procentech:

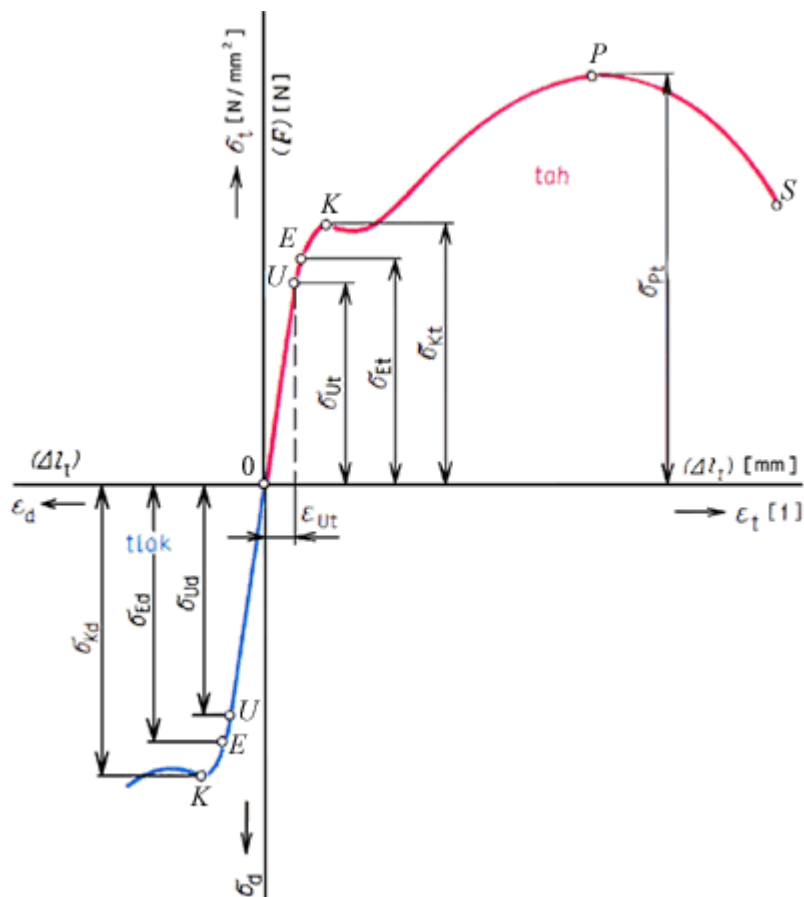
$$\psi = \frac{S_0 - S}{S_0} \cdot 100 \quad (\%)$$

Zkoušky tahem se zpravidla nedělají přímo na vyrobené součásti, ale na zkušebních tyčích, jejichž tvary a rozměry jsou normalizovány. Abychom mohli měřit prodloužení zkušební tyče po přetržení, vyznačíme na ní před zkouškou rysky ve vzdálenosti 10 mm.



Obr. 5 Tvary zkušebních tyčí pro zkoušku tahem

**Trhací stroje** kreslí v průběhu trhací zkoušky na milimetrový papír, upnutý na buben registračního přístroje, **pracovní diagram**, udávající závislost poměrného prodloužení  $\varepsilon$  na napětí  $\sigma$  (nebo změny délky  $\Delta l$  na zatěžující síle  $F$ ). Z diagramu vidíme, že zpočátku je prodloužení tyče přímo úměrné vzrůstajícímu zatížení, a to až do bodu  $U$ .



Obr. 6 Pracovní diagram zkoušky tahem a tlakem měkké uhlíkové oceli

Napětí  $\sigma_U$ , odpovídající bodu  $U$ , nazýváme **mez úměrnosti** a definujeme ji jako mezní napětí, při němž je prodloužení ještě přímo úměrné napětí (**Hookův zákon**).

Hookeův zákon pro tah a tlak lze (pro malá napětí a malé deformace) vyjádřit ve tvaru

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}, \text{ kde } \varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \text{ je poměrné délkové prodloužení (přičemž } l \text{ označuje délku vzorku),}$$

$E$  je modul pružnosti v tahu (Youngův modul),  $\sigma$  je mechanické napětí.

Hookeův zákon pro smyk lze (pro malá napětí a malé deformace) vyjádřit ve tvaru

$$\gamma = \frac{\tau}{G},$$

kde  $\gamma$  je úhel smyku,  $\tau$  je tečné napětí a  $G$  je modul pružnosti ve smyku.

$\gamma$  je poměrné posunutí (zkos nebo také úhel smyku)  $\gamma = \frac{\Delta x}{l}$ .

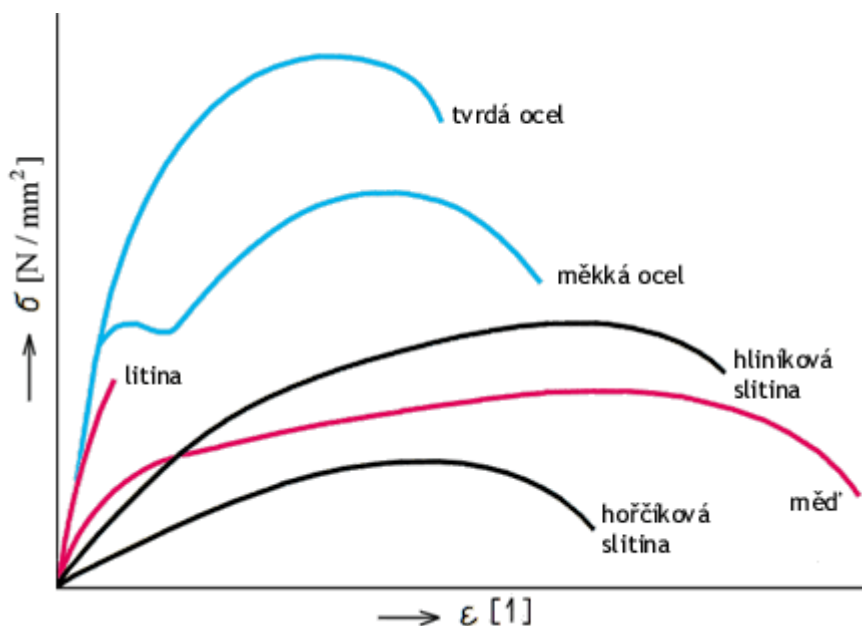
V dalším průběhu zkoušky přestává být prodloužení přímo úměrné zatížení. Až po bod  $E$  je protažení pružné, tj. po odlehčení nabývá tyč původních rozměrů. Napětí  $\sigma_E$  odpovídající bodu  $E$  je **mez pružnosti** a definujeme ji jako mezní napětí, které po odtížení (úplném odlehčení) nevyvolává trvalé deformace.

Zvětšujeme-li zatížení dále, nastává přetváření plastické (trvalé) a tyč po odlehčení již nenabude původní délky. Napětí  $\sigma_{Kl}$  odpovídající bodu  $K$  označujeme jako **mez kluzu v tahu** a definujeme je jako nejmenší napětí, při němž nastávají podstatné deformace, které někdy dočasně pokračují, aniž se zároveň zvyšuje napětí.

Od bodu  $K$  jde čára diagramu téměř vodorovně, kov jako by tekl, tj. tyč se prodlužuje, aniž vzrůstá zatížení. Někdy se objeví i malý pokles napětí. Při dalším zvětšování zatížení se tyč prodlužuje mnohem rychleji než vzrůstá zatížení. Bodu  $P$  na vrcholu křivky odpovídá největší napětí  $\sigma_{Pt}$  (**mez pevnosti v tahu** čili **pevnost v tahu**). **Pevnost v tahu** (mez pevnosti v tahu)  $\sigma_{Pt}$  je smluvní hodnota napětí daného podílem největší zatěžující síly  $F$ , kterou snese zkušební tyč, a původního průřezu tyče  $S_0$ .

Při napětí odpovídajícím bodu  $S$  se tyčka přetrhne (skutečné napětí při přetržení je menší než pevnost v tahu).

Tvar pracovního diagramu se mění podle druhu materiálu.



Obr. 7 Příklady pracovních diagramů různých kovů a slitin

Další prováděné zkoušky materiálu jsou:

▪ Zkouška tlakem

můžeme sestavit diagram  $\epsilon_d$ - $\sigma_d$  a stanovit:

- pevnost v tlaku (mez pevnosti v tlaku)  $\sigma_{Pd}$ ,
- prosté zkrácení (stlačení)  $\Delta l_d$ ,
- poměrné zkrácení (stlačení)  $\epsilon_d$ ,
- poměrné zkrácení (stlačení) v procentech  $\delta_d$ ,
- příčné rozšíření  $\psi_d$ .



Rozměry i definice těchto hodnot jsou stejné jako pro zkoušku tahem. Mez pevnosti v tlaku se uvádí jen pro křehké materiály, neboť u měkkých a tvárných kovů nelze určit okamžik porušení.

▪ Zkouška ohybem

**Pevnost v ohybu** (mez pevnosti v ohybu)  $\sigma_{Po}$  je napětí, při němž se tyč přelomí. Průhyb při lomu  $y_p$  je absolutní prohnutí při lomu zkušební tyče namáhané na ohyb, měřené uprostřed podpěr ve směru působící síly. Z výsledků zkoušky určíme i poměrný průhyb  $\varphi$  v procentech

$$\varphi = \frac{y}{l} \cdot 100 \quad (\%).$$

▪ Zkouška krutem

Měří se příslušný krouticí moment a zkroucení tyče na určité měřené délce. Touto zkouškou zjišťujeme **poměrné zkroucení** (zkрут)

$$\mathcal{G} = \frac{V}{l_0}.$$

▪ Zkouška stříhem

Ze zatížení, při kterém se zkušební tyč poruší, a z původní plochy stříhaných průřezů vypočítáme mez pevnosti ve stříhu. **Pevnost ve stříhu** (mez pevnosti ve stříhu)  $\tau_{Ps}$  je největší smykové napětí potřebné k přestřížení zkušební tyče.

**Tabulka 10** Nové označením veličin:

název veličiny	značka		jednotka
	stará	nová	
počáteční měřená délka	$l_0$	$L_0$	mm
měřená délka po přetržení	$l$	$L_u$	mm
tažnost	$\delta$	$A$	%
kontrakce	$\psi$	$Z$	%
počáteční průřez zkušební tyče	$S_0$	$S_0$	mm <sup>2</sup>
průřez zkušební tyče po přetržení	$S$	$S_u$	mm <sup>2</sup>
průměr kruhové tyče po přetržení	$d$	$d_u$	mm
výrazná mez kluzu	$\sigma_{Kt}$	$R_e$	MPa
smluvní mez kluzu z trvalé deformace	$\sigma_{0,2}$	$R_{r0,2}$	MPa
mez pevnosti v tahu	$\sigma_{Pt}$	$R_m$	Mpa
síla na mezi pevnosti	$F_{Pt}$	$F_m$	N
poměrné prodloužení	$\varepsilon$	$\frac{\Delta}{L_0}$	$\frac{m}{m}$ (%)

## Zkoušky dynamické

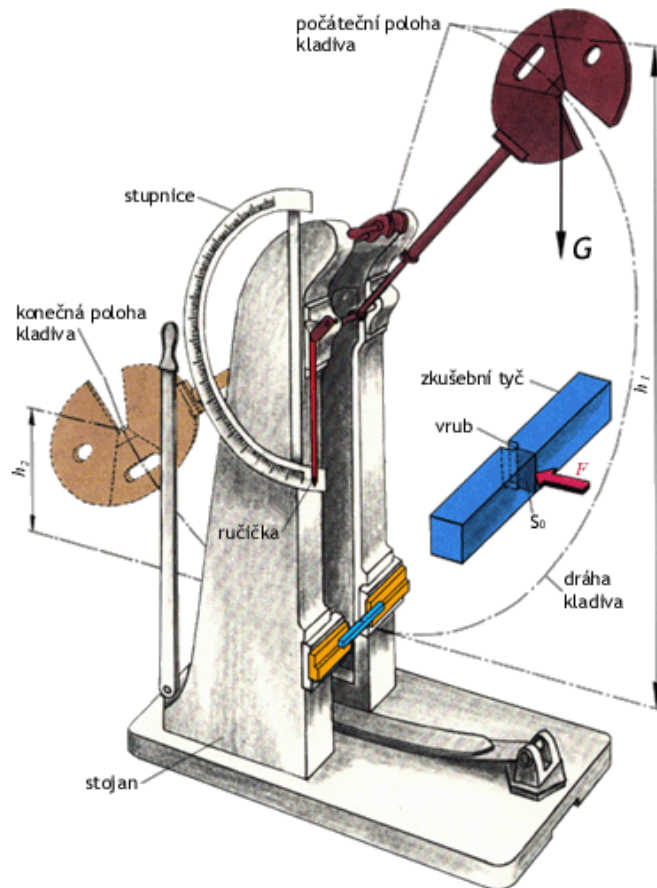
### Zkouška vrubové houževnatosti

Slouží k zjištění, kolik práce nebo energie se spotřebuje na porušení zkušební tyče. Zkouší se nejčastěji jedním rázem, kdy se na porušení zkušební tyčky použije najednou dostatečné množství energie.

**Zkouška rázem v ohybu** je ze všech zkoušek nepoužívanější. Nejběžnější je **zkouška vrubové houževnatosti** na Charpyho kyvadlovém kladivu.

Těžké kladivo, otočné kolem osy, se zdvihne a upevní v počáteční poloze. V nejnižší poloze kladiva se umístí ve stojanu kyvadlového kladiva zkušební tyč ze zkoušeného materiálu. Po uvolnění z počáteční polohy se kladivo pohybuje po kruhové dráze, narazí na zkušební tyč, přerazí ji a vykývne do konečné polohy. Tato poloha je nižší než poloha počáteční, protože na přeražení zkušební tyče se spotřebovala určitá práce. Této práci říkáme **spotřebovaná nárazová práce**  $A_R$  (J) a vypočítáme ji ze vztahu:

$$A_R = G (h_1 - h_2).$$



Obr. 8 Zkouška rázem v ohybu – Charpyho kyvadlové kladivo

Podíl spotřebované nárazové práce  $A_R$  a původního nejmenšího průřezu v místě vrubu  $S_0$  nazýváme **vrubová houževnatost R**:

$$R = \frac{A_R}{S_0} \quad \left( \frac{J}{m^2}; J, m^2 \right).$$

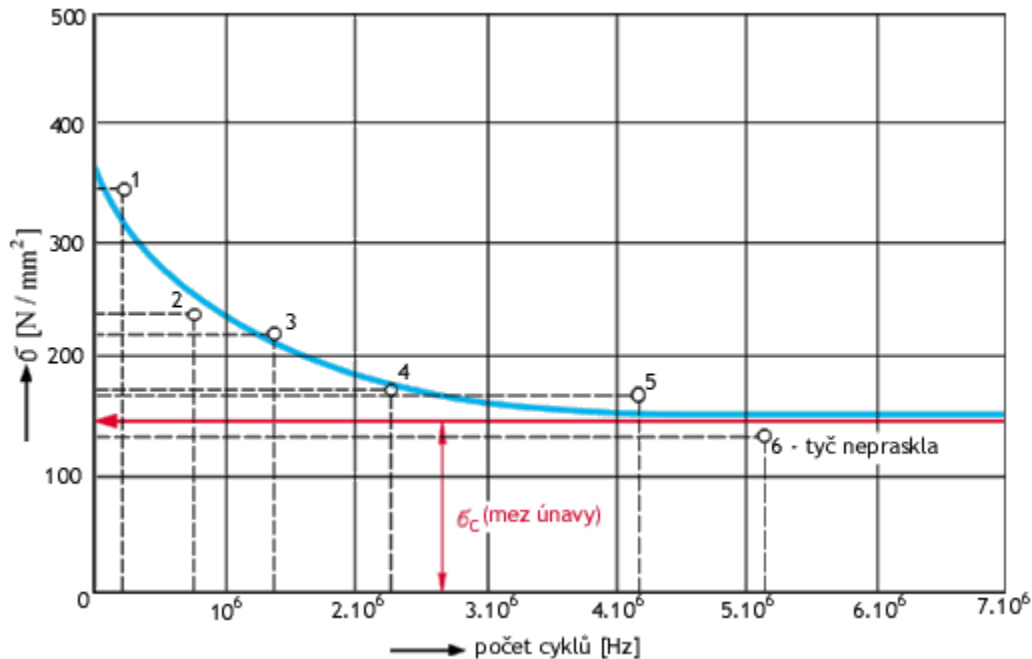
### Zkoušky opětovným namáháním

Říkáme jim také **zkoušky únavy materiálu** a dávají opět jiný obraz o chování kovů. Při namáhání součásti vznikají často poruchy dřívě (tj. i při značně nižším napětí), než odpovídá jeho statické pevnosti. Tomuto jevu říkáme **únavu materiálu**. Při zkoumání se ukázalo, že nebezpečí lomu z únavy je jen při překročení určité hranice, kterou nazýváme **mez únavy**. Při zjišťování meze únavy je součást namáhána napětím cyklickým. Zatěžovací cyklus (perioda) je průběh napětí za jednu dobu kmitu. Doba kmitu je nejmenší časový úsek, za který se opakuje týž průběh namáhání. ( $\sim$ )

Mez únavy zjišťujeme na speciálních zkušebních strojích. Pro střídavé napětí souměrné a nesouměrné stanovíme mez v kombinaci tah – tlak ( $\sigma_c$ ), v ohybu ( $\sigma_{c0}$ ) a v krutu ( $\tau_c$ ). Při napětí pulsujícím a míjivém určujeme mez únavy v tahu, tlaku, ohybu a krutu.

Pro tyto zkoušky se používá několika stejných zkušebních tyčí ze zkoušeného materiálu a zatěžují se jedním z uvedených způsobů. První tyč se zatíží něco málo pod mezí kluzu a po porušení tyče se odečte příslušný počet cyklů změn zatížení. Vynesením použité velikosti napětí  $\sigma$  na svislou osu a počtu cyklů na vodorovnou osu se získá bod 1. Další tyče se zatíží menším napětím, čímž se dosáhne většího počtu cyklů před porušením – bod 2. Tak se

postupuje i u ostatních tyčí a získají se další body. Těmito body se proloží křivka (tzv. **Wöhlerova křivka**) udávající závislost mezi napětím a počtem cyklů. Tato křivka se po určitém počtu cyklů blíží asymptoticky napětí, které je mezí únavy  $\sigma_C$ . Proto si k Wöhlerově křivce zakreslíme asymptotu jako rovnoběžku s vodorovnou osou a tato rovnoběžka na ose napětí určuje mez únavy. **Mez únavy**  $\sigma_C$  (N/mm<sup>2</sup>) definujeme jako největší napětí, při kterém součást zhotovená z tohoto materiálu vydrží teoreticky neomezený počet cyklů změn zatížení.



Obr. 9 Konstrukce Wöhlerovy křivky – zjišťování meze únavy

Únava materiálu souvisí nejen s jeho vlastnostmi, ale i se stavem jeho povrchu. Drsnost, vruby, povrchová koróze apod. snižují mez únavy. Leštění, povrchové tvrdění nebo mechanické zpevnění povrchu naopak mez únavy zvyšují.

### 2.2.2 Zkoušky tvrdosti

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

**Tvrdość** definujeme jako odpor, který klade materiál proti vnikání cizího tělesa. Na této definici je založena většina přístrojů k měření tvrdosti. Hodnoty tvrdosti se uvádějí buď bez jednotek, nebo, jsou-li odvozeny ze vztahu mezi tlakovou silou a plochou vtisku, přisuzujeme jim jednotku N/mm<sup>2</sup>. Protože však tento způsob může vést k omylům (k záměně za pevnost), je lépe uvádět tvrdost jako číslo nepojmenované, pouze s udáním způsobu měření nebo stupnice. Pro tvrdost používáme značku H. Zkoušky tvrdosti rozdělujeme na zkoušky **vrypové, vnikací a odrazové**.

**Zkouška vrypová.** Dnes se jí používá už jen pro tvrdé a křehké materiály (sklo, porcelán aj.). V technické praxi se používá zkouška podle Martense.

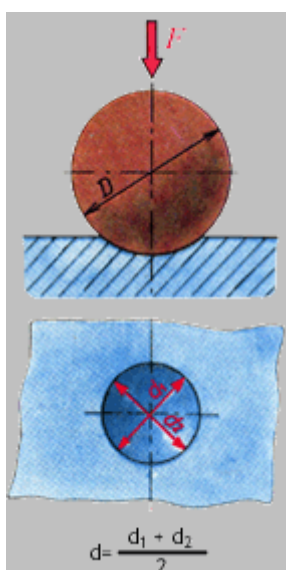
**Vrypovou tvrdost podle Martense** HMa zjišťujeme přitlačováním kuželového

diamantového hrotu měnitelným tlakem na leštěný povrch zkušebního předmětu, kterým pohybujeme určitou rychlostí. Mírou tvrdosti je pak síla  $F$ , potřebná ke vzniku vrypu širokého 0,01 mm.

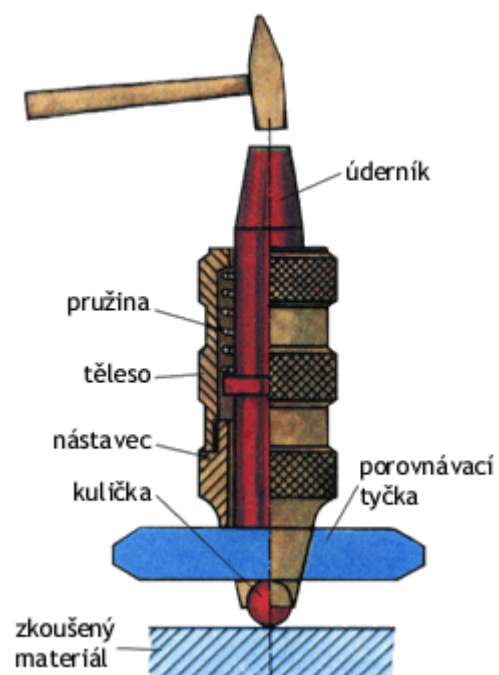
**Zkouška vnikací** je nejpoužívanější zkouškou při zjišťování tvrdosti materiálů. Při této zkoušce zatlačujeme do zkušebního materiálu velmi tvrdé těleso (kuličku, kužel, jehlan) a měřítkem tvrdosti je velikost vzniklého vtisku (jeho plocha, hloubka nebo úhlopříčka. Nejznámější jsou zkoušky tvrdosti podle Brinella, Rockwella a Vickerse. Tvrdost neželezných kovů (Cu, Sn, Pb, Al a jejich slitiny) zkoušíme nejčastěji podle Brinella, tvrdé a kalené materiály podle Rockwella. Zkouška tvrdosti podle Vickerse odstraňuje nevýhody obou předcházejících zkoušek a je nejpoužívanější.

**Tvrdost podle Brinella** (ČSN 42 0371) zjišťujeme vlačováním ocelové kalené kuličky rovnoměrně stupňovanou silou  $F$  po dobu  $t$  do lesklé rovné plochy zkušebního vzorku nebo zkoušené součásti. Zkouší se na Brinellově tvrdoměru. Kulička vytvoří na zkušebním vzorku kulovitý vtisk. Tvrdost určujeme podle průměru vtisku, který měříme dvakrát (kolmo na sebe), abychom vyloučili chyby vzniklé nepřesností vtisku. Pro praktickou potřebu jsou sestaveny tabulky, ve kterých podle průměru vtisku  $d$  a velikosti použité síly  $F$  najdeme přímo odpovídající tvrdost a pevnost. Označení tvrdosti se skládá ze značky tvrdosti **HB** a k ní připojených údajů podmínek zkoušky, tj. průměru kuličky  $D$ , síly  $F$  a doby zatížení  $t$ . Tyto údaje jsou od sebe odděleny šikmou zlomkovou čarou (např. HB 5/7500/30 = 320). Pro nejběžnější podmínky, tj. HB 10/30000/10, používáme jen označení HB (např. HB=210).

Nejpoužívanější je **ruční přenosný** (kapesní) **tvrdoměr Poldi**. Principem je porovnání známé pevnosti materiálu porovnávací tyčinky s pevností zkoušeného materiálu. Pracuje se s ním tak, že tvrdoměr přiložíme ke zkoušenému předmětu a kladívkem udeříme na úderník. Ocelová kulička se úderem kladívka zatlačí do zkoušeného materiálu a vytvoří v něm vtisk. Zároveň se však kulička vtiskne i do porovnávací tyčinky. Pomocí lupy se změří průměry vtisků na zkoušeném materiálu i na porovnávací tyči. V tabulkách, které jsou ke každému tvrdoměru přiloženy, vyhledáme příslušné číslo tvrdosti podle velikosti vtisku.



Obr. 10 Zkouška tvrdosti podle Brinella



Obr. 11 Ruční tvrdoměr Poldi

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

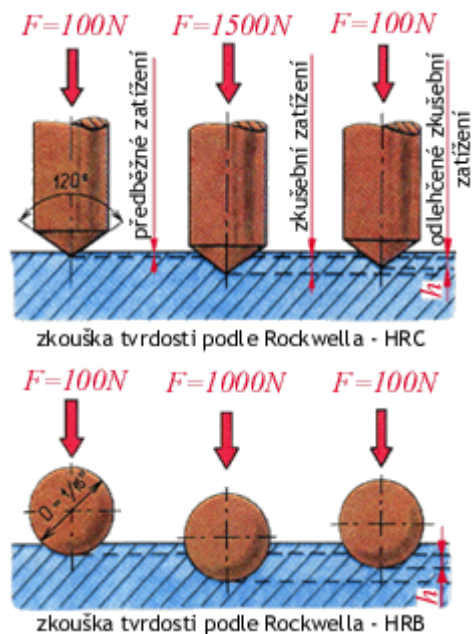
Diamantový kužel nebo ocelovou kuličku, dotýkající se povrchu zkoušeného předmětu, nejprve předběžně zatížíme silou 100 N, což je výchozí poloha pro měření hloubky vtisku. Potom zvolna zvětšujeme zatěžovací sílu tak, abychom za 3 až 6 sekund dosáhli zatížení předepsané normou (např. předběžné zatížení silou 100 N + zkušební zatížení silou 1400 N = celkové zatížení silou 1500 N). Pak zatěžující sílu opět zmenšujeme až na 100 N a v tomto stavu zjistíme přírůstek  $h$  hloubky vtisku, který nastal proti výchozí poloze při 100 N. Většina přístrojů pro tuto zkoušku je upravena tak, že hloubku vtisku odečteme na číselníkovém úchylkoměru, kde ukazovatel na číselníku ukazuje přímo tvrdość podle Rockwella. Je to zkouška rychlá, snadná, vpichy (důlky) jsou velmi malé (max. hloubka 0.2 mm). Je vhodná pro běžnou kontrolu velkých sérií výrobků a tam, kde HB již není použitelná.

U nás jsou normalizovány tři zkoušky tvrdości podle Rockwella. Tvrdość zjištěnou při těchto zkouškách označujeme **HRA**, **HRB**, **HRC**.

**HRA** je tvrdość určená diamantovým kuželem při celkovém zatížení 600 N (pro křehké materiály a tenké povrchové vrstvy),

**HRB** je tvrdość určená ocelovou kuličkou při celkovém zatížení 1000 N (pro měkčí kovy),

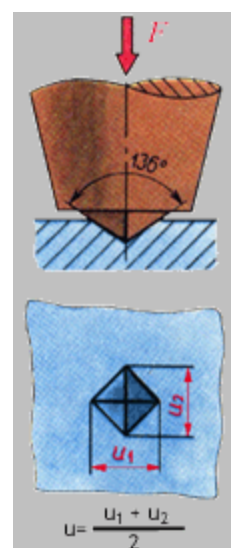
**HRC** je tvrdość určená diamantovým kuželem při celkovém zatížení 1500 N (doporučuje se používat pro rozsah HRC=20 až 67).



Obr. 12 Zkoušky tvrdości podle Rockwella

**Tvrdość podle Vickerse** (ČSN 42 0374) se zkouší na Vickersově tvrdoměru. Do materiálu vtlačujeme diamantový jehlan se čtvercovou základnou a okulárem mikroskopu nebo projekcí zjišťujeme střední délku u obou úhlopříček. Zkušební zatěžující síla bývá od 10 do 1000 N. Doba zatížení se volí od 10 do 180 s.

Pro praktickou potřebu používáme tabulek, ve kterých podle délky úhlopříčky  $u$  a použité síly  $F$  najdeme přímo odpovídající tvrdość. Této metody můžeme použít pro všechny tvrdości. Je velmi přesná a není téměř závislá na zatížení.



Obr. 13 Zkouška tvrdości podle Vickerse

## **2.3 Odolnost proti korozi**

Opotřebenění a zničení součástí nastává v praxi nejen vlivy mechanickými, ale i vlivy chemickými. Různá prostředí nebo chemické účinky některých kapalných a plyných látek způsobí porušení povrchu součástí. U kovů nazýváme tento jev koroze.

Abychom se mohli korozi bránit, musíme především vědět, jak jí daný materiál podléhá. Toto zjištění je obtížné, protože koroze závisí nejen na druhu látky, jakosti povrchu, zpracování apod., ale i na mnoha vnějších vlivech (koncentraci, teplotě a pohybu korozního činidla apod.).

Při **korozních zkouškách v přírodě** (dlouhodobé zkoušky) umístíme vzorky zkoušených materiálů přímo do provozních podmínek nebo do míst s nejnepříznivějšími podmínkami. Jindy tyto vzorky ponořujeme celé nebo zčásti do různých kapalin (říční voda, minerální voda, kaly) nebo ukládáme vzorky do různých druhů půdy. Materiál pro zařízení v chemickém průmyslu zkusíme často pomocí vzorků přímo v pracovním prostředí.

**Korozní zkoušky v laboratoři** (krátkodobé zkoušky) dávají přehled o odolnosti látek v chemicky působících kapalinách a plynech. Zkoušky probíhají buď v klidně stojící kapalině (plynu), nebo v proudící kapalině (plynu), nebo při opakovaném ponoru. I v laboratoři lze uměle připravit nepříznivé klimatické poměry (tzv. **mikroklima**) v zařízeních nazývaných klimatizační komory.

Velikost koroze posuzujeme obvykle úbytkem kovu na hmotnosti v gramech na  $1 \text{ cm}^2$  plochy za určitý čas ( $\text{g/cm}^2\text{h}$ ).

Jinou formou koroze je **opal – oxidace** za vyšších teplot. Schopnost odolávat této oxidaci nazýváme **žárovzdornost**. Tuto vlastnost musí mít ty části strojů a zařízení, které musí dlouhodobě odolávat žáru (teplota zhruba nad  $600^\circ\text{C}$ ). Jsou to např. kotle, rošty, trubky aj. Žárovzdornosti se dosáhne tím, že do slitin se přidají některé prvky, jako hliník, chróm, křemík.

Naproti tomu **žárupevnost** je vlastnost, kterou musí mít materiály, které budou dlouhodobě přenášet větší namáhání za vyšších teplot. Patří sem zejména materiály na ventily spalovacích motorů, lopatky parních turbín, součástí turbín tryskových letadel apod.

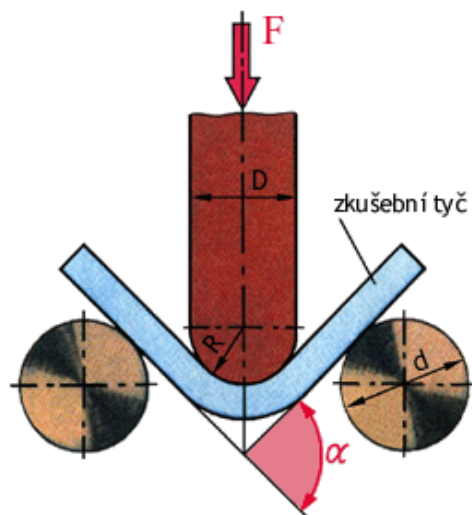
## **2.4 Technologické vlastnosti**

Jsou to vlastnosti, které úzce souvisí se zpracováním materiálu na výrobek. Proto se při jejich zkoušení snažíme přiblížit co nejvíce podmínkám, při nichž bude materiál zpracováván, popřípadě, jimž bude v provozu vystaven. Z hlediska praxe jsou tyto zkoušky velmi důležité.

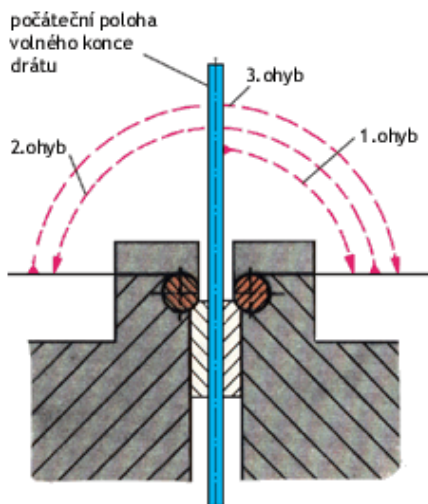
### **2.4.1 Tvárnost**

**Tvárnost** je vlastnost, kterou musí mít materiál určený ke kování, válcování, lisování apod. Tvárný materiál si zachová tvar daný působením vnějších mechanických sil, a to i po jejich zániku. Tvárnost zjišťujeme různými zkouškami buď za studena, nebo za tepla.

**Zkouška lámavosti** (ČSN 42 0401) posuzuje tvárnost podle velikosti úhlu ohybu  $\alpha$  zkušební tyče, aniž v místě ohybu vznikly trhliny.



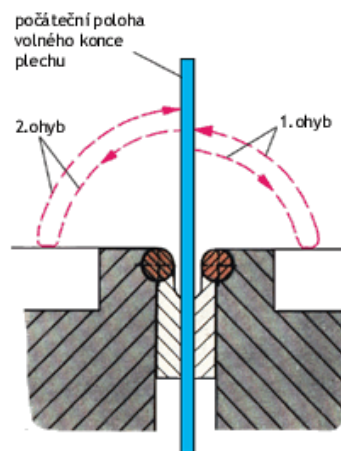
Obr. 14 Zkouška lámavosti



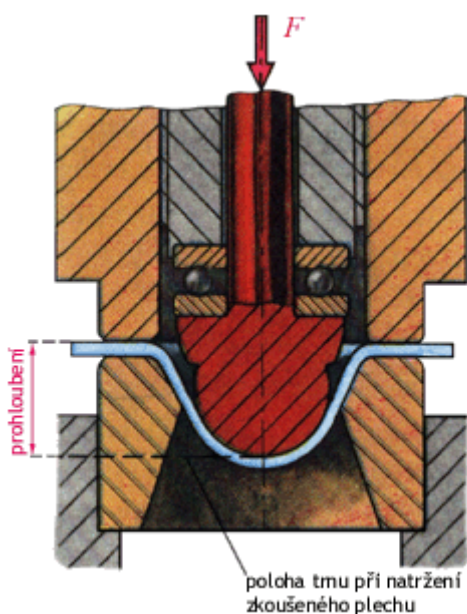
Obr. 15 Zkouška drátu střídavým ohýbáním

**Zkouška drátu střídavým ohýbáním** (ČSN 42 0422) udává odolnost drátu proti střídavému ohýbání jako počet ohybů zkušební vzorku ve zkušebním zařízení. Za ohyb zde považujeme již první ohyb o  $90^\circ$  z počáteční polohy, za druhý další ohyb o  $180^\circ$  atd.

**Zkouška střídavým ohýbáním plechů a pásů** (ČSN 42 0405) je podobná zkoušce s drátem. Za jeden ohyb však zde považujeme ohyb o  $90^\circ$  z výchozí polohy do krajní a zpět.



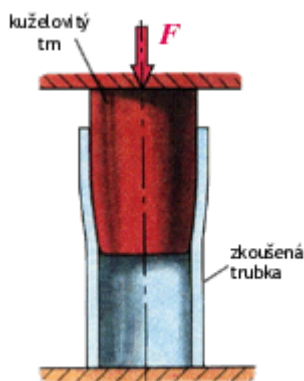
Obr. 16 Zkouška střídavým ohýbáním plechů a pásů



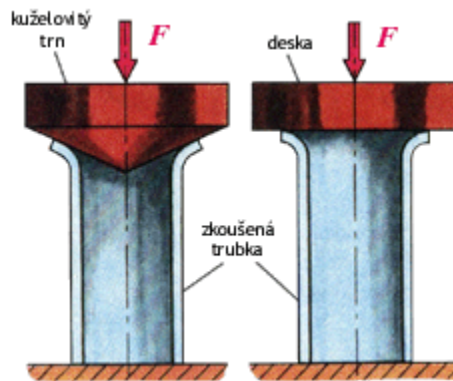
Obr. 17 Zkouška plechů a pásů hloubením

**Zkouška plechů a pásů hloubením podle Erichsena** (ČSN 42 0406) udává pro plechy a pásy hlubitelnost čili **hlubokotažnost** jako prohloubení. Prohloubení je dráha, kterou vykoná trn ve zkušebním přístroji z nulové polohy do polohy, v níž začíná natržení plechu.

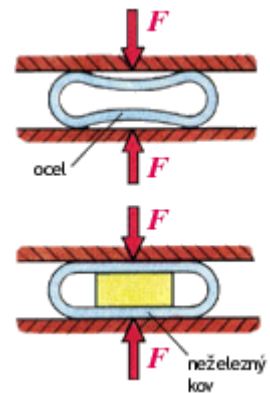
**Zkouška trubek rozháněním** (ČSN 42 0410), **lemováním** (ČSN 42 0411) a **smáčknutím** (ČSN 42 0413) zjišťuje zpracovatelnost trub, zvláště tažených za studena. Trubky vyhovují, nevzniknou-li při zkoušce v místě rozhánění, lemování nebo smáčknutí na zkušebním vzorku trhliny.



Obr. 18 Zkouška trubek rozháněním

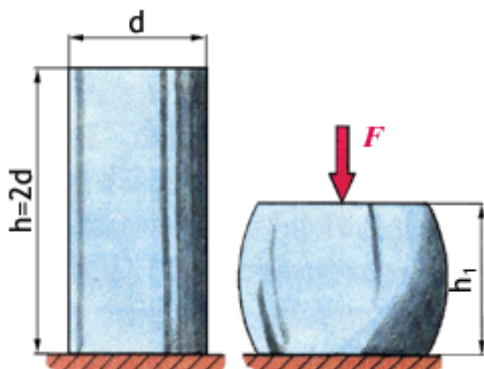


Obr. 19 Zkouška trubek rozháněním



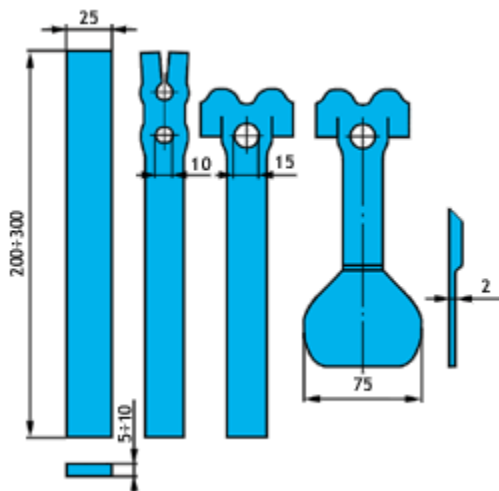
Obr. 20 Zkouška trubek smáčknutím

**Zkouška pýcháním za studena** (ČSN 42 0415) se zjišťuje povrchová čistota polotovaru určeného k výrobě nýtů, hřebíků apod. Materiál vyhovuje, jestliže při zkoušce na pýchávaném vzorku nevznikly trhliny.



Obr. 21 Zkouška pýcháním za studena

**Zkouška kovatelnosti.** Touto zkouškou zjišťujeme kujnost oceli. Na předkované ocelové tyči provedeme zkoušku děrovací, rozšiřovací, rozštěpení a rozkování. Úlohou všech těchto zkoušek je zjistit zpracovatelnost oceli za tepla. Rozsah kujnosti oceli je tím větší, čím vzniknou větší deformace bez vzniku trhlinek. Na dobře kovatelne oceli nesmějí po těchto zkouškách vzniknout na hranách ani plochách žádné trhlinky.



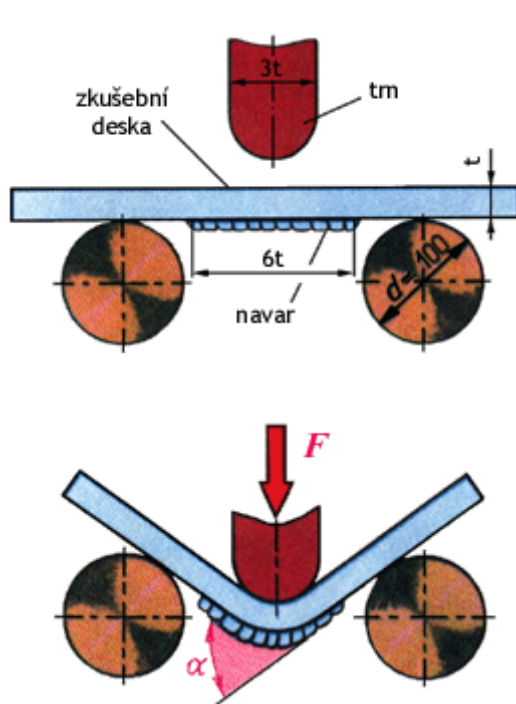
Obr. 22 Zkouška kovatelnosti



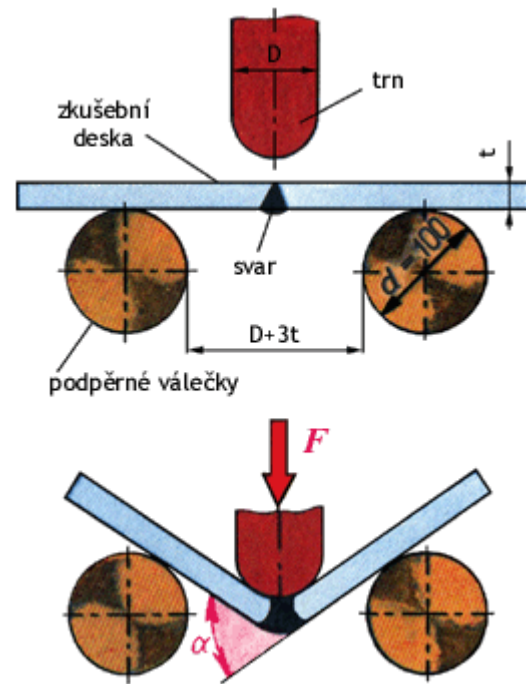
### 2.4.2 Svařitelnost

**Svařitelnost** materiálu je schopnost vytvořit ze dvou částí nerozebíratelný celek některým způsobem tavného, tlakového nebo jiného svařování. Obtížná svařitelnost materiálu se projevuje nečistým, málo pevným svarem nebo křehnutím materiálu v okolí svaru. Svařitelnost zkoušíme mnoha způsoby. Zkoušený materiál svaříme tak, jak tomu bude v praxi, a svar sám i jeho okolí podrobíme zkouškám pevnosti, vrubové houževnatosti apod.

Svařitelnost vyjadřujeme ve čtyřech stupních: **zaručená**, **zaručená podmíněná**, **dobrá** a **obtížná** (ČSN 05 1310).



Obr. 23 Zkouška svařitelnosti – ohybová návarová zkouška



Obr. 24 Zkouška svařitelnosti – lámavosti svaru

### 2.4.3 Obrobitelnost

**Obrobitelnost** rozumíme chování materiálu při obrábění reznými nástroji (soustružení, frézování, hoblování, vrtání apod.). Obrobitelnost posuzujeme nejen podle mechanických vlastností materiálu, ale i podle snadnosti oddělování třísky, podle chování třísky k materiálu nástroje (ulpívání třísky na nástroji, tvoření nárůstku na ostří apod.) a podle rezného odporu. Zkoušíme ji normalizovaným nástrojem na měřicích suportech při různých rychlostech a konstantních rezných podmínkách.

### 2.4.4 Slévatelnost

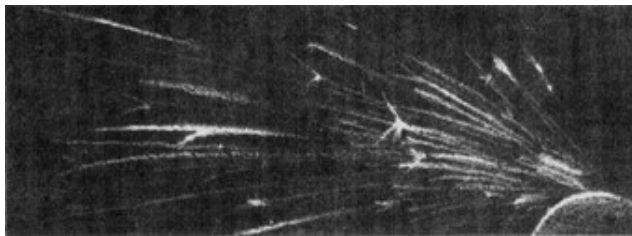
**Slévatelnost** je souhrn vlastností, které musí mít kov (slitina) určený k lití. Umožňuje výrobu zdravých odlitků. Takový kov musí mít proto dobrou tekutost (tj. schopnost vyplňovat rychle celou formu), nesmí tvořit bubliny a musí se málo smršťovat. Praktická zkouška tekutosti se dělá v zaformované spirálové drážce zkušební formy tak, že kov (slitina) se nalévá do formy tak dlouho, až je vtok formy plný. Po vychladnutí se odlitek vyjme z formy a zjistí se, kam až kov v drážce zatekl (zaběhl). Proměřením rozměrů odlitku a rozměrů modelu se zjistí smrštění.

### 2.4.5 Odolnost proti opotřebení

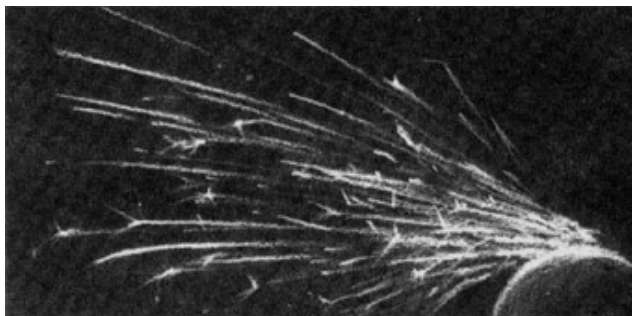
**Opotřebení** je nežádoucí oddělování částeczek materiálu, k němuž dochází na povrchu součástí strojů a přístrojů, náradí, nástrojů apod. působením vnějších sil. Tento jev znamená stálé ubývání materiálu a vynucuje si občasnou opravu nebo i výměnu opotřebovaných součástí. Opotřebení je nejčastěji způsobeno třením mezi tuhými tělesy, ve značné míře však i třením mezi pevnou látkou a kapalinou. Zjišťuje se při kombinaci kov-kov, nekov-kov, nekov-nekov, a to pro tření kluzné nebo pro odpor proti valení, když je nebo není styčná plocha mazána. Často se zjišťuje i opotřebení způsobené pohybujícími se pevnými částicemi, jako je např. písek, popel nebo hlína u pluhů, bagrů, transportérů atd. Zkoušky se dělají podle různých metod na speciálních zkušebních strojích a přizpůsobují se podmínkám provozu.

### 2.4.6 Jiskrové zkoušky

Tyto zkoušky jsou velmi vhodné hlavně pro určení druhu neznámé oceli. Při těchto zkouškách se používá sady ocelových vzorků o známém chemickém složení. Při zkoušce, která se dělá na brusce, postupujeme tak, že k brousicímu kotouči přitlačujeme současně vzorek ze sady a zkoušenou ocel. Vzorky ze sady vyměňujeme tak dlouho, až jsou jiskry obou ocelí stejné.



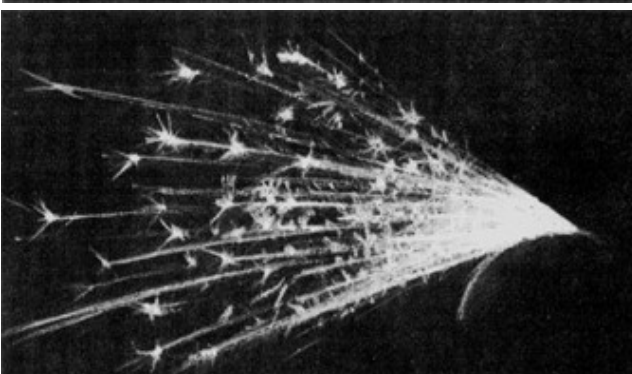
ocel konstrukční - měkká (12 020 - 0.2%C)



ocel konstrukční - tvrdá (12 060 - 0.6%C)



ocel nástrojová - rychlořezná (19 800 - 0.8%C)



ocel nástrojová - uhlíková (19 132 - 0.7%C)

Obr. 25 Jiskrové zkoušky

## 2.5 Zkoušky bez porušení materiálu

**Zkoušky bez porušení materiálu – nedestruktivní** zaujmají dnes již pevné místo v průmyslové výrobě. Bylo vyvinuto mnoho různých metod, které se navzájem dobře doplňují. Žádná z jednotlivých metod není totiž stoprocentní, tj. nedává možnost zjistit všechny vady vyskytující se v polotovarech nebo v hotových výrobcích. Je proto třeba použít vždy několika metod, aby bylo zaručeno zjištění všech vad, které by se mohly v daném případě vyskytnout.

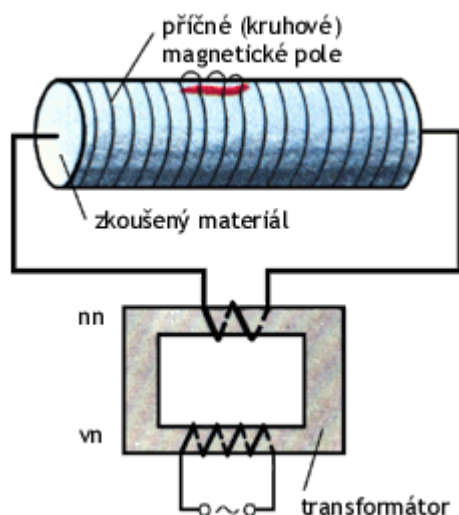
Zkoušky se dělají buď laboratorně, nebo přímo ve výrobě, popř. na místě montáže (např. montáž mostů). Rozeznáváme dva druhy kontroly materiálu bez porušení:

- zjišťování vad na povrchu materiálu,
- zjišťování skrytých (neviditelných) vnitřních vad materiálu.

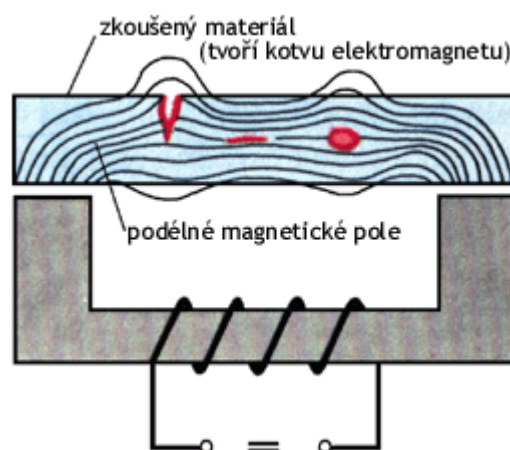
### 2.5.1 Zjišťování vad na povrchu materiálu

#### Zkouška elektromagnetická polévací

Používá se jí pouze u feromagnetických materiálů pro zjištění trhlin a podobných vad, sahajících až na povrch materiálu. Podstata zkoušky je v tom, že ve zkoušeném předmětu vytvoříme magnetické pole. Siločáry jsou pak vytlačeny na povrch v těch místech, kde jsou trhliny, a vytvoří na materiálu magnetické póly. Zkoušený předmět se poleje **detekční kapalinou**, tj. olejem (petrolejem), v němž je rozptýleno jemné práškové železo (**metalizovaný olej**). Železné částice se uchytí na povrchu součásti v místech, kde se vytvořily magnetické póly. Z ostatních míst jsou železné částice odplaveny olejem. Tím vznikne obraz vady dříve prostým okem neviditelné. Střídavým proudem provádíme tzv. **příčnou (kruhovou) magnetizaci** a **zjišťujeme vady podélné**, stejnosměrným proudem provádíme **podélnou magnetizaci** a **zjišťujeme vady příčné**. Při podélné magnetizaci se však součást permanentně zmagnetizuje. Musíme ji proto po zkoušce **odmagnetizovat (demagnetizovat)**.

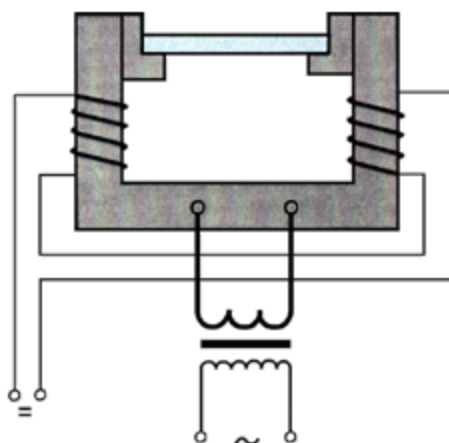


Obr. 26 Princip zjišťování podélných vad



Obr. 27 Princip zjišťování příčných vad

Při zkoušení předmětů používáme elektromagnetických defektoskopů, do kterých zkoušený předmět upínáme a ve kterých lze podélnou i příčnou magnetizaci kombinovat.



Obr. 28 Princip elektromagnetického defektoskopu pro magnetizaci podélnou i kruhovou

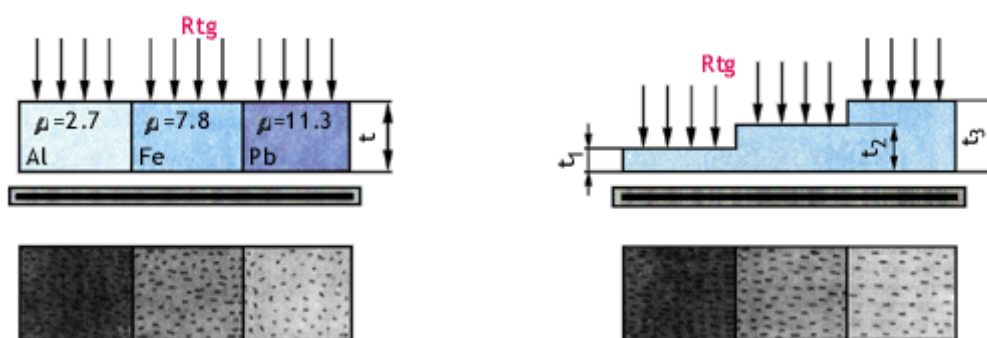
### Zkouška kapilární

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

## 2.5.2 Zjišťování neviditelných vnitřních vad materiálu

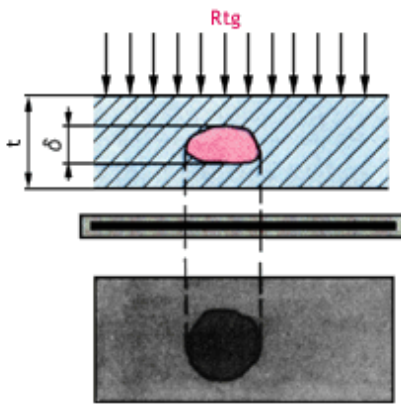
### Zkouška prozařováním rentgenovým zářením a gama zářením

Je založena na schopnosti krátkovlnného záření pronikat materiálem, na jeho zeslabení absorpcí v materiálu a na jeho působení na citlivou vrstvu fotografického filmu. Zeslabení intenzity záření závisí na hustotě zkoušeného předmětu a na jeho tloušťce.



Obr. 29 Rentgenové záření – závislost prozáření na hustotě materiálu a na tloušťce materiálu

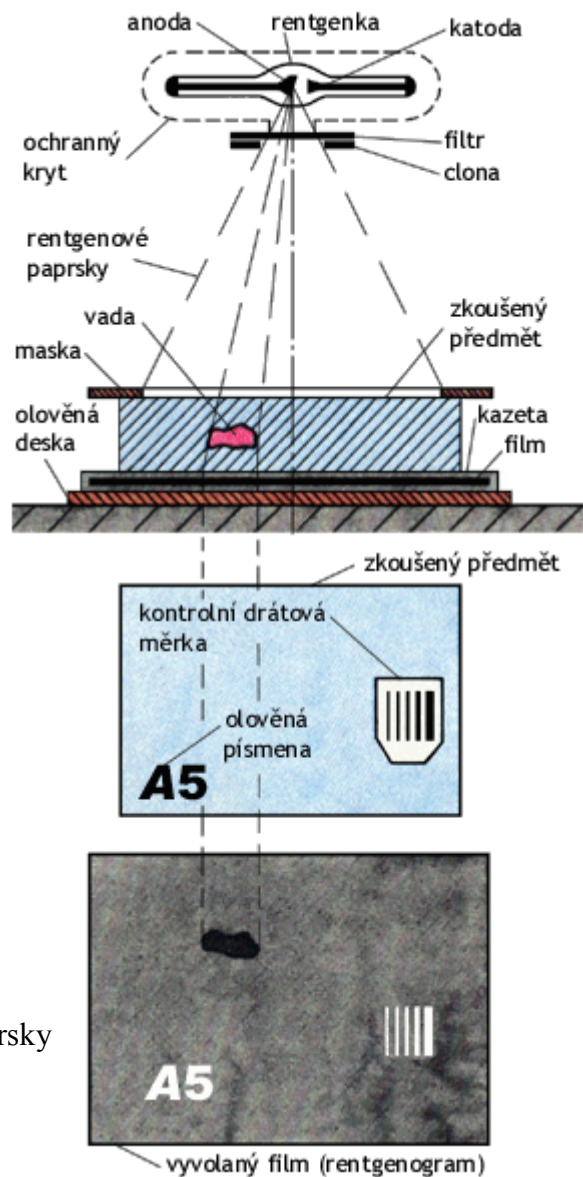
Je-li v předmětu vnitřní vada (póry, ztaženiny a znečištění v odlitcích, výkovicích, svarech apod.), je v tomto místě skutečná tloušťka kovu menší o rozměr vady ve směru záření. Hustota materiálu v místě vady je také menší, a proto je intenzita záření v místě vady zeslabována méně než v jejím okolí. Na film umístěný na opačné straně předmětu dopadne v



Obr. 30 Rentgenové záření – vada v materiálu

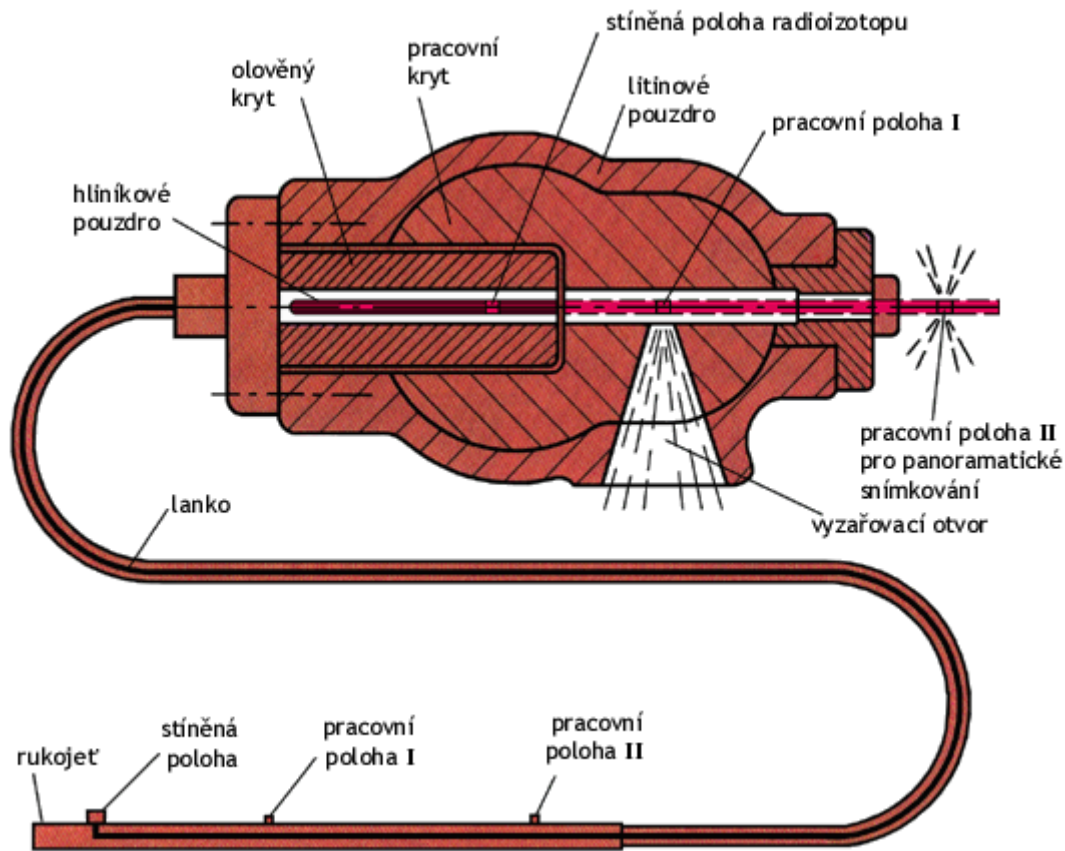
místě vady záření o větší intenzitě. Vada se tedy projeví na vyvolaném snímku (**rentgenogram, gamagram**) jako tmavá vrstva na světlejším pozadí. Přesná poloha vad se určuje buď dvojím snímkováním v navzájem kolmých směrech, nebo dvojí expozicí na tentýž film po posunu zdroje záření rovnoběžně s rovinou filmu.

Rentgenový přístroj v ochranném krytu vysílá svazek paprsků přes filtr a clonu na zkoušený předmět. Části, které nemají být ozařovány, jsou kryty olověnou maskou. Těsně za zkoumaným předmětem je kazeta s filmem. Aby bylo možno vadu zjištěnou na snímku nalézt také na skutečném předmětu, používáme olověných písmen nebo značek. Jejich poloha se na předmětu trvale označí a na snímku je lze velmi dobře přechíst, neboť jsou proti ostatnímu obrazu velmi světlé. Kromě toho na stranu předmětu přivrácenou ke zdroji záření přikládáme měрку (drátky) s různě odstupňovanými průměry k určení dosažené rozeznatelnosti vad. Dosaženou rozeznatelnost udáváme v procentech prozařované tloušťky a bývá od 1 do 2%.



Obr. 31 Princip zkoušky rentgenovými paprsky

Při zkoušce rentgenovým zářením používáme **rentgenové přístroje**, v poslední době se začínají používat **betatrony**. Při zkoušce gama zářením používáme **radioaktivních zdrojů přirozených** (radia, radonu) nebo **umělých** (radioaktivní kobalt Co 60, tantal Ta 182 apod.). Příklad uložení radioizotopu kobaltu:



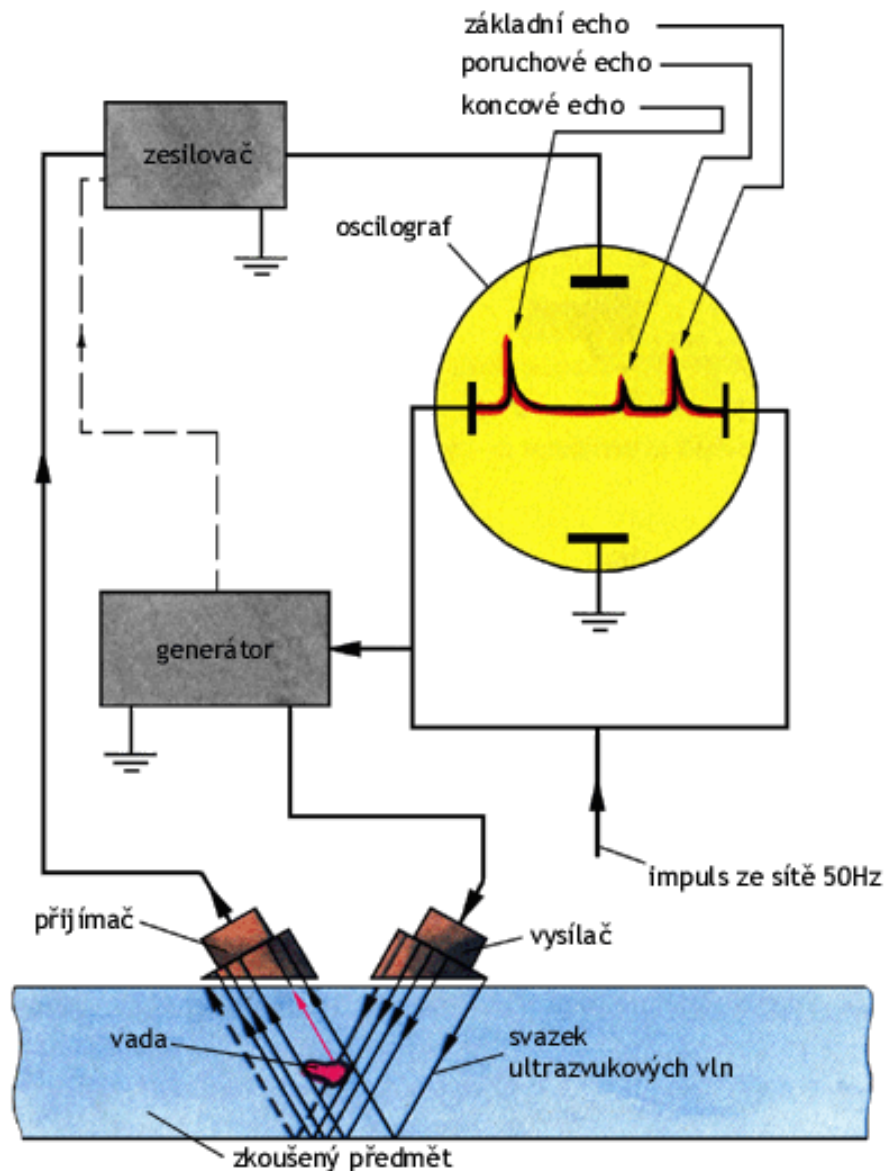
Obr. 32 Přístroj na prozařování materiálu radioizotopy

Porovnáme-li rozeznatelnost vad při použití rentgenového záření a gama záření, zjistíme, že u ocelí do tloušťky asi 55 mm dává zkouška rentgenem lepší výsledky. Od této tloušťky je rozeznatelnost vad při obou metodách prakticky stejná. Pro materiály větší tloušťky je u zkoušky rentgenovým zářením zapotřebí velmi vysokých napětí, nebo se používá betatronů. Častěji však u materiálů větších tlouštěk používáme gama záření. Jeho předností je snadné přemísťování zkušebního zařízení.

### Zkouška ultrazvukem

Patří mezi moderní způsoby zkoušení materiálů. Zkoušky jsou zdravotně nezávadné, dají se provádět rychle a lze jich použít i pro materiál až několik metrů tlustý. Při těchto zkouškách používáme impulsní defektoskopy (princip radaru). Mají buď jednu sondu (pracuje střídavě jako vysílač i přijímač), nebo dvě sondy (sonda vysílací a sonda přijímací).

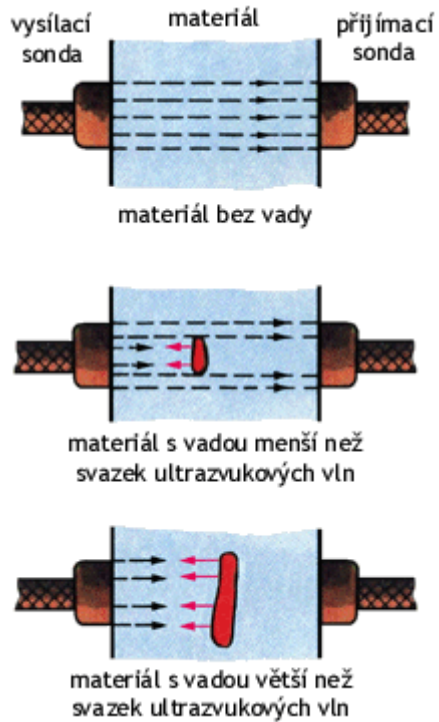
Nejrozšířenější z těchto zkoušek je **metoda odrazová**, při které se krátkodobý ultrazvukový impuls vysílá do zkoušeného materiálu. V něm se odráží od protilehlé stěny nebo od možné vady a na téže straně, na níž je vysíláno, se opět přijímá. Působením řídicího impulsu se rozkmitá oscilační obvod generátoru (vysokofrekvenčního elektronkového oscilátoru s frekvencí od 0.5 do 5 MHz). Jeho kmity se přenesou na křemenný krystal umístěný ve vysílači, který vyšle do zkoušeného materiálu svazek ultrazvukových vln. Část budicího impulsu se při tom zavede přes zesilovač do oscilografu, na jehož stínítku se objeví kmit – základní **echo**.



Obr. 33 Princip ultrazvukového defektoskopu

Svazek ultrazvukových vln prostupuje materiálem, narazí na protější stěnu, tam se odrazí a vrátí se zpět do přijímače, kde rozkmitá jeho krystal. Vzniklé elektrické kmity se vedou přes zesilovač do oscilografu, na jehož stínítku se objeví **koncové echo**. Je-li v materiálu vada (trhlina, dutina apod.), odrazí se od ní část ultrazvukových vln. Ty dospějí do přijímače dříve a na stínítku oscilografu se projeví jako **poruchové echo**.

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



Obr. 34 Princip průchodové metody

Zkoušení ultrazvukem je vhodné pro materiály velké tloušťky a tehdy, kdy jiné způsoby zkoušení nedávají uspokojivé výsledky. Ultrazvuku používáme i při zkoušení neželezných kovů. Další výhodou zkoušení ultrazvukem je malý rozměr přístroje a jeho snadná přenosnost.



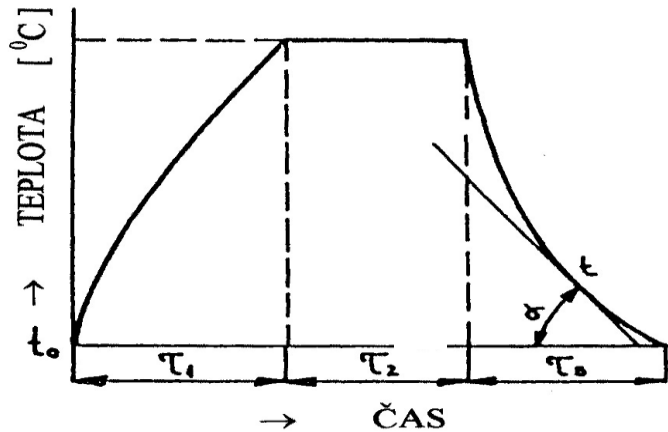
### 3. Tepelné a chemicko – tepelné zpracování kovových materiálů

Tepelným zpracováním se rozumí postupy, při kterých se materiál v tuhém stavu určitým způsobem ohřeje a ochladí, tak aby získal požadované vlastnosti. Při chemicko - tepelném zpracování navíc dojde k změně chemického složení.

#### 3.1 Tepelné zpracování

Obecně jde o souhrn operací:

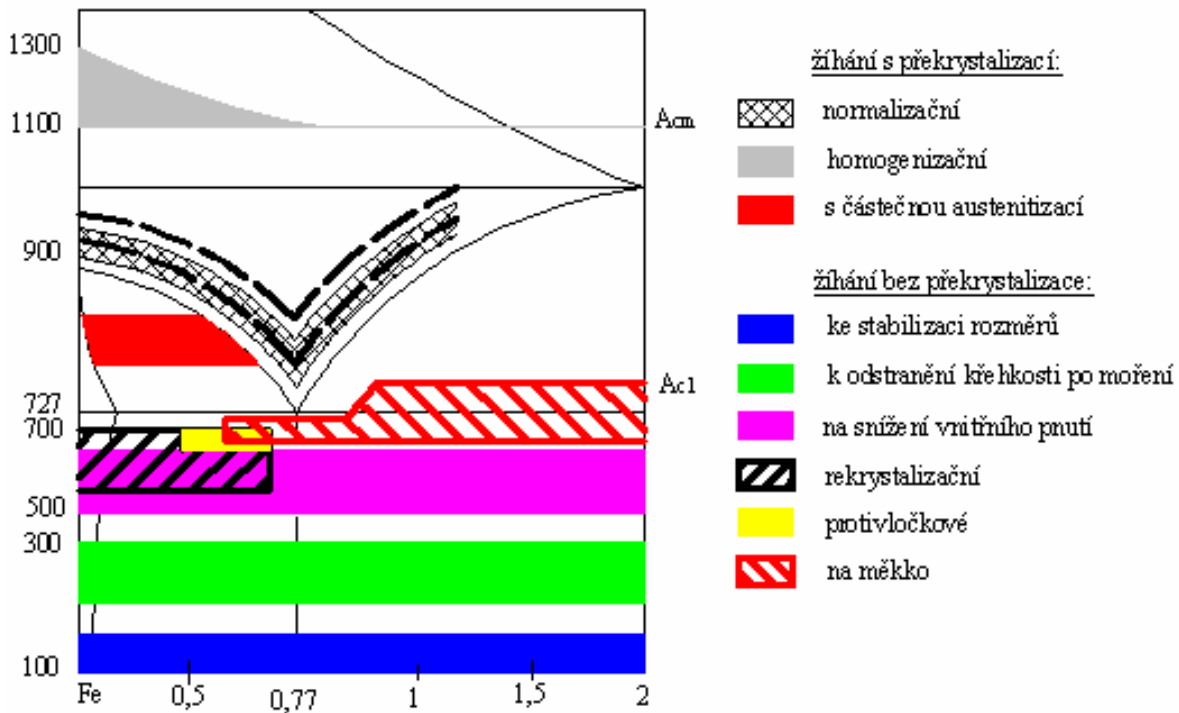
- ❖ **ohřev**
- ❖ **výdrž**
  - prohřátí
  - průběh reakcí
- ❖ **ochlazování**



Obr. 35 Schéma průběhu tepelného zpracování

#### 3.1.1 Žihání

slouží ke zlepšení vlastností materiálů jako např. pevnost, houževnatost, obrobitelnost, fyzikální vlastnosti. Jedná se vždy o ohřev materiálu na určitou teplotu, následuje výdrž na této teplotě a pomalé ochlazení přičemž se ochlazuje se buď v peci, nebo na vzduchu.



Obr. 36 Oblasti žihacích teplot v rovnovážném diagramu Fe – Fe<sub>3</sub>C pro nejčastěji používané druhy žihání

### Druhy žhání:

#### **Žhání s překrystalizací**

Nastává při ohřevu materiálu nad teplotu  $A_{c1}$ . Překrystalizace je děj, při kterém se mění jedna krystalová mřížka v druhou krystalickou mřížku.

- Normalizační
- Homogenizační
- S částečnou austenitizací
- Základní

#### **Žhání bez překrystalizace**

Nastává při ohřevu materiálu do teploty  $A_{c1}$ .

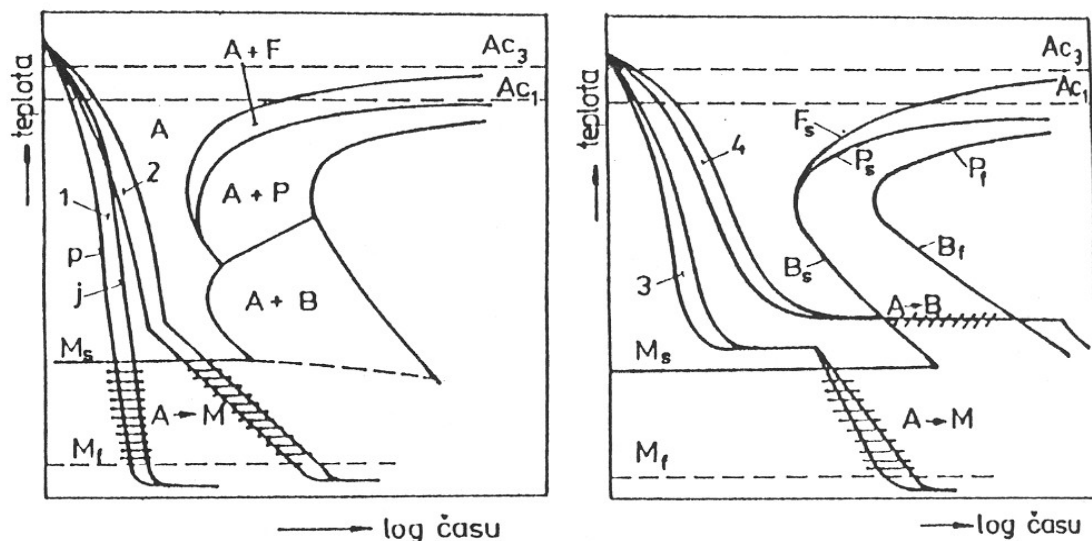
- Ke stabilizaci rozměrů
- K odstranění křehkosti po moření
- Na snížení vnitřního pnutí
- Rekrystalizační
- Protivločkové
- Na měkko

### **3.1.2 Kalení**

je tepelné zpracování kovů, při kterém se z kalící teploty materiál prudce ochlazuje. Tím získávají lepší mechanické a fyzikální vlastnosti (vysoká tvrdost a odolnost proti opotřebení). V případě oceli dochází k vzniku přesyceného tuhého roztoku uhlíku v železe (tzv. martenzitu) – má jemnou strukturu. Struktura materiálu je závislá na rychlosti ochlazování, ale i dalších faktorů (nečistoty v kovu atd.). Čím je rychlost ochlazování vyšší, tím je struktura jemnější. Kalící teplota je nižší než teplota tavení kovu a je závislá na obsahu uhlíku.

#### **Kalící prostředí:**

- **voda** – nenáročné a levné kalící prostředí, nejintenzivnější kalící prostředí, dosahuje se zde nadkritických rychlostí ochlazování, které jsou nutné pro vznik martenzitické struktury, nevýhodou tohoto kalícího prostředí je vznik velkých pnutí v zakalené součásti
- **oleje** – mírnější kalící prostředí ochlazování 10x menší než voda, minerální oleje teplota 50°C, za provozu olej stárne
- **roztavené solné lázně** – plynulé ochlazování dosáhne se nejmenšího vnitřního pnutí
- **vzduch** – se kalí pouze samokalitelné oceli tř. 19
- **roztavené kovové lázně** – používáme jen v některých případech, podobné vlastnosti jako solné lázně



- 1 – do studené lázně (přímé)
- 2 – přerušované
- 3 – termální
- 4 – izotermické zušlechťování

- p-ochlazování povrchu
- j-ochlazování jádra

Obr. 37 Druhy kalení

### 3.1.3 Popouštění

Popouštění je postup, který úzce souvisí s kalením, jeho cílem je zvýšit houževnatost zakaleného výrobku. (Martenzit je tvrdý, ale křehký. Popouštěním se dá dosáhnout určitých změn ve struktuře kovu.) Při tomto procesu klesá tvrdost výrobku velmi málo, ale houževnatost se zvyšuje výrazně. Jedná se vlastně o překalení za nižších teplot. Provedeme ohřev na popouštěcí teplotu, která je nižší než kalicí, a po prodlevě nastává velmi pomalé ochlazování.

### 3.1.4 Zušlechťování

kalení + popouštění

## 3.2 Chemicko – tepelné zpracování

je difúzní sycení povrchu, kterým je dosaženo rozdílného chemického složení a tím i vlastností jádra a povrchu.

### 3.2.1 Cementování

Je to nejběžnější způsob chemicko-tepelného zpracování. Při cementování se sytí povrch součástí uhlíkem, aby se zvýšila jeho kalitelnost. Účelem je zvýšit obsah uhlíku na  $0,8 \div 1 \%$ . Tloušťka vrstvy je kolem 1 mm, jen výjimečně více. Provádí se u součástí, u kterých potřebujeme tvrdý povrch a houževnaté jádro (ozubená kola, kalibry apod.).

Teplota ohřevu je nad teplotu  $Ac_3$  ( $880 - 930^\circ C$ ) (musíme rozpustit ferit). Po cementování provádíme kalení a popouštění, abychom zvýšili tvrdost.

### **Prostředí pro cementování:**

- Tuhé prostředí – jde o cementování v prášku (směs dřevěného uhlí a uhličitanu bornatého). Předměty se vloží do krabic, zasypou se práškem a provádí se ohřev. Nevýhody jsou špatná regulace, prašnost a pomalost.
- Kapalně prostředí – jde o cementování v solné lázni (kyanid sodný, draselný a bornatý). Nevýhodou je vysoká jedovatost lázně.
- Plynné prostředí – jde o cementování pomocí oxidu uhličitého a uhlovodíků. Je to nejpoužívanější způsob, je rychlý a snadno regulovatelný.

### **3.2.2 Nitridování**

Je to sycení povrchu součásti dusíkem. Teplota ohřevu je pod teplotou  $A_{c1}$  ( $470 - 580^{\circ}\text{C}$ ) (dusík je nejvíce rozpustný v železe  $\alpha$ ). Vzniká velmi tenká a tvrdá povrchová vrstva nitridů, které zvyšují tvrdost, odolnost proti korozi, opotřebení a únavě materiálu (hloubka je  $0,2 \div 0,6$  mm). Po nitridování se díky velké tvrdosti nedá dále obrábět, pouze se provádí leštění

Prostředí pro nitridování

- Kapalně prostředí-jde o nitridování v solné lázni
- Plynné prostředí – jde o nitridování pomocí čpavku (amoniak –  $\text{NH}_3$ )

### **3.2.3 Nitrocementování**

Je to sycení povrchu součásti dusíkem a uhlíkem (převládá uhlík). Teplota ohřevu je nad teplotou  $A_{c1}$  ( $840 - 860^{\circ}$ ). Dojde ke zvýšení tvrdosti, odolnosti proti korozi, opotřebení a únavě materiálu. Provádí se u malých součástí. Po nitridocementování provádíme kalení a popouštění.

### **3.2.4 Carbonitridování**

Je to sycení povrchu součásti dusíkem a uhlíkem (převládá dusík). Teplota ohřevu je pod teplotou  $A_{c1}$ . Nemusíme kalit ani popouštět.

### **3.2.5 Sulfonitridování**

Je to sycení povrchu součásti sírou a dusíkem. Teplota ohřevu je pod teplotou  $A_{c1}$ . Zlepší se třecí vlastnosti, zvyšuje se odolnost proti opotřebení a zadření vlivem špatného mazání.

### **3.2.6 Boridování**

Je to sycení povrchu součásti borem. Teplota ohřevu je nad teplotou  $A_{c3}$ . Zvyšuje se trvanlivost nástrojů a odolnost proti otěru a zadírání.

#### **4. Použitá literatura:**

- [1] J. Havlík, T. Szlachta: *Základy strojnictví*, skriptum VŠB – TU Ostrava 1996
- [2] F. Drastík a kolektiv, *Strojnická příručka: vývoj, výpočty, konstrukce, technologie, výroba. [Svazek 1]*, Praha: Dashöfer, c2002-2009, ISBN 80-86229-65-3
- [3] F. Drastík a kolektiv, *Strojnická příručka: vývoj, výpočty, konstrukce, technologie, výroba. [Svazek 2]*, Praha: Dashöfer, c2002-2009, ISBN 80-86229-65-3
- [4] F. Drastík a kolektiv, *Strojnická příručka: vývoj, výpočty, konstrukce, technologie, výroba. [Svazek 3]*, Praha: Dashöfer, c2002-2009, ISBN 80-86229-65-3
- [5] M. Hluchý, J. Kolouch, *Strojírenská technologie 1, Nauka o materiálu 1. díl*, Praha: SCIENTIA, 1998, ISBN 80-7183-150-6