

## Pevné látky

Zabývá se jimi zejména materiálová fyzika

Základní makroskopické vlastnosti:

- Při nepůsobení sil zachovávají svůj tvar (na rozdíl od kapalin)
- Zachovávají svůj objem (na rozdíl od plynů)

Vzájemně se liší svými **mechanickými** (pružnost, tažnost, křehkost), **tepelnými** (tepelná vodivost), elektromagnetickými, optickými aj. vlastnostmi

### Krystalické a amorfní látky

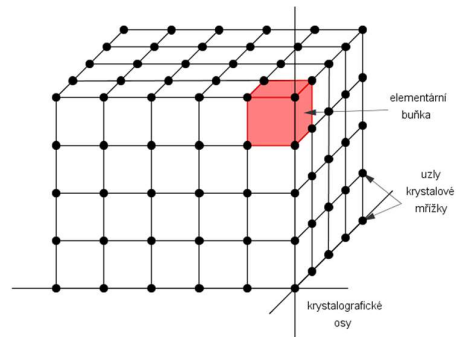
- Krystalické látky- pravidelné uspořádání částic- tzv. dalekodosahové uspořádání
  - Monokrystaly- částice uspořádány do vzoru, který se periodicky opakuje (fraktál), často až na makroskopické měřítko- krystalizují z jednoho základu (např. NaCl, diamant, křemíkové monokrystaly)
    - Anizotropické- některé fyzikální vlastnosti jsou závislé na orientaci krystalu (např. štěpení dle rovin krystalu)
  - Polykrystaly- skládají se z mnoha drobných krystalických zrn, která k sobě přiléhají náhodně (většina látek a všechny kovy)
    - Izotropické (většinou)- fyzikální vlastnosti jsou ve všech směrech stejné (např. rovnoměrné roztahování kovů)
- Amorfní látky- periodické uspořádání nepřesahuje  $10^{-8}\text{m}$ , poté je narušeno- tzv. krátkodosahové uspořádání (např. sklo, plasty, resiny, vosk)
  - Izotropické
  - Polymer- zvláštní případ- makromolekuly (většinou organika) s opakujícím se tzv. základní monomerní jednotkou- makromolekuly se stáčí, proplétají apod. (např. kaučuk, bavlna, termoplasty)

### Ideální krystalická mřížka

- Základním útvarem je rovnoběžnostěn (např. krychle), jejímž zvětšením/posunem ve třech osách získáme nekonečnou geometrickou mřížku
- Primitivní buňka- krychle o nejmenším objemu, kde je však každý vrchol osazen částicí (v prostém kubickém krystalu jsou všechny částice vrcholy krychle, v ostatních konfiguracích jsou částice rozmístěny i uvnitř a „na stěnách“ pomyslné krychle)
- Celý krystal je pak tvořen pouze „multiplikací“ primitivní buňky (tzv. ideální krystal)
- Ideální krystal nemá poruchy a částice se nepohybují

Některé částice buňka vždy sdílí s buňkami sousedními (na vybudování další prosté krystalické buňky proto stačí pouze 1 částice)

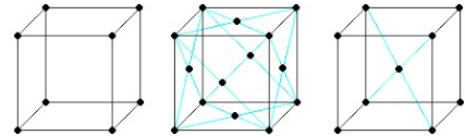
Mřížková konstanta/parametr (a)- délka hrany primitivní buňky



## Příklady

Typy kubické mřížky (soustavy):

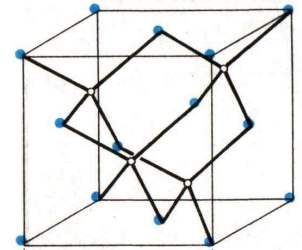
- Prostá- částice ve vrcholech- vzácná (např. Po<sub>α</sub>)
- Plošně centrovaná- částice ve vrcholech a ve středech stěn (např. Al, Ni, Cu, Ag, Au, Pb)
- Prostorově centrovaná- částice ve vrcholech a uprostřed buňky (např. Li, Na, K, Cr, W)



Existuje dohromady 7 základních krystalických soustav

Ve složitějších krystalech nemají částice symetrické polohy (např. NaCl, Si, diamant, Ge, SiC)

Složitější primitivní buňky často souvisí s vyšší vazností



## Poruchy krystalické mřížky

Reálné krystaly obsahují odchylky od pravidelnosti- tzv. poruchy:

- Vakance
  - Podstata: neobsazení uzlu krystalické mřížky
  - Příčina: nejčastěji tepelný pohyb částic či uvolnění v důsledku ozáření elektrony či neutrony
- Intersticiální poloha částic
  - Podstata: částice je mimo pravidelný uzel krystalické mřížky
  - Příčina: většinou se jedná o novou polohu částice, která způsobila vakanci
- Příměsi
  - Podstata: cizí částice uvnitř krystalu daného chemického složení
  - Typy:
    - Intersticiální poloha (např. absorpce uhlíku železem → ocel)
    - Nahrazení částice krystalické mřížky (např. borové atomy vpravované do krystalu křemíku → polovodiče)
- Čárové poruchy (dislokace)
  - Podstata: rovinné posuny v krystalu (šroubové nebo hranové) → chybějící/přebývající vrstva
  - Reálné krystaly mají 0,1% pevnosti ideálních krystalů- způsobeno dislokacemi (je potřeba rozrušit pouze vazby v blízkosti dislokačních čar, nikoliv v celém krystalu najednou)
  - Velice typické pro kovy (ohyb, tah)

## Deformace pevného tělesa

Díky relativně silným vazbám mezi částicemi pevných látek je potřeba vynaložit sílu k jejich narušení a změně vzájemné polohy (tvaru) či vzdálenosti (objemu)

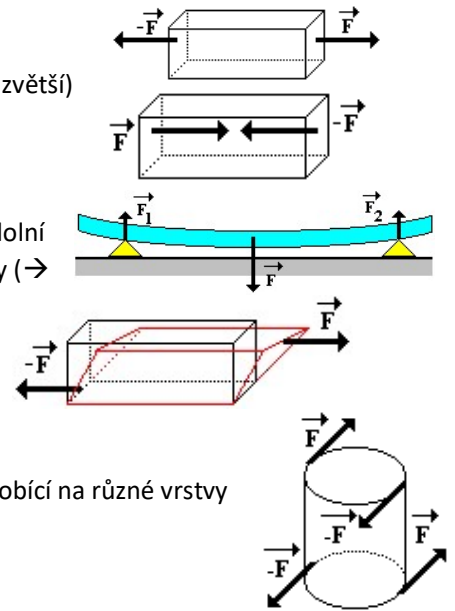
Dle účinku deformace- v praxi existují v poměru charakteristickém pro materiál:

- Elastická deformace- dočasná

- Plastická deformace- trvalá

Jednoduché deformace dle účinku síly:

- **Tah**- síly (stejně velké a opačné) směrem ven z tělesa (→ objem se zvětší)
- **Tlak**- síly směrem dovnitř tělesa (→ objem se zmenšuje)
- **Ohyb**
  - Síly kolmo k podélné ose, které jsou vyvažovány jen z části
  - Př. dolů prohýbaný prut- horní vrstvy se tlakem zkracují a dolní vrstvy se tahem prodlužují, střední vrstvy nejsou namáhány (→ příčné řezy ohýbaných materiálů mají tvar H, I či T)
- **Smyk**
  - Opačné síly, které však působí v různých rovinách
  - Jednotlivé vrstvy tělesa se posouvají, ale délka vrstev se nemění
- **Kroucení**- dvojice sil se stejnými momenty a opačným směrem působící na různé vrstvy tělesa (→ vrstvy se vzájemně pootáčejí)



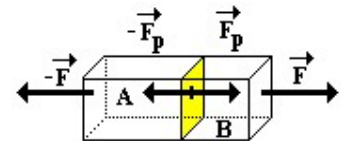
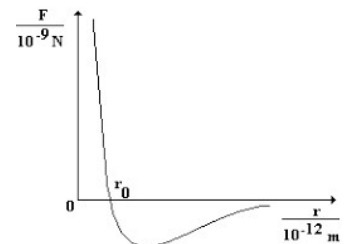
Praktické deformace se skládají z více jednoduchých

### Deformace tahem a tlakem

Zvětšuje/zmenšuje vzdálenost mezi částicemi, což zvyšuje přitažlivé/odpudivé síly mezi částicemi (tzv. síly pružnosti/elastic force)

Síly pružnosti následují 3. Newtonův zákon a zabraňují nekonečné natahování:

- Na libovolnou částici pružně deformovaného tělesa působí z obou stran síly pružnosti vyvolané zvyšující se vzdáleností mezi částicemi
- V rovnovážném stavu se  $F_p = F_{tah/tlak}$  (těleso se dále neprodužuje/nezkracuje)



Normálové napětí (stress)- „vnitřní napětí“ vzniklé v každém příčném řezu pružně deformovaného tělesa

$$\sigma = \frac{F_p}{A(S)} [Pa]$$

Mez pružnosti / elastic limit / yield strenght ( $\sigma_e$ )- experimentálně určená hodnota normálového napětí, pro které je deformace ještě elastická, tedy vratná (po jejím překročení se např. pružina již nevrátí do původního tvaru)

Mez pevnosti / breaking point ( $\sigma_p$ )- velikost normálového napětí je taková, že plastická deformace způsobí porušení soudržnosti (po jejím překročení dojde k přetrhnutí/prasknutí)

Součinitel bezpečnosti- v praxi se volí předepsané tzv. dovolené napětí- součinitel bezpečnosti je tedy podíl mezi mezí pevnosti a dovoleného napětí (např. dřevo: 10; kovy: 4-8)

## Hookeův zákon

Zabývá se elastickými deformacemi tahem či tlakem a jejich vztahem k normálovému napětí, vzhledem k tomu, že počítat normálové napětí v tahu/tlaku se stává složitějším díky zmenšujícímu/zvětšujícímu se příčnému řezu

Relativní prodloužení/zkrácení ( $\varepsilon$ )- elastické prodloužení/zkrácení tahem či tlakem vztáhnuté k počáteční délce- bezrozměrné číslo (po vynásobení 100- procentuální prodloužení/zkrácení):

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_{initial}}$$

**Hookeův zákon:** experimentálně zjištěno, že se při elastické deformaci tahem/tlakem je normálové napětí přímo úměrné relativnímu prodloužení/zkrácení tělesa

$$\sigma_n = E * \varepsilon$$

Youngův modul pružnosti (E)- materiálová konstanta (viz tabulky)- jednotka pascal

Většina látek má modul pružnosti v tahu i v tlaku stejný

Platí pouze pro pružné látky- tj. do meze pružnosti (elastic limit)

Pro nepružné látky (např. beton, litina, žula, sklo, mramor, porcelán) Hookeův zákon prakticky neplatí (jejich mez pružnosti je téměř mezí pevnosti)

## Teplotní roztažnost (dilatace)

Při zvýšení teploty se zvýší průměrná kinetická energie částic, a tedy i jejich průměrná vzdálenost ( $\rightarrow$  objem tělesa se zvýší)<sup>1</sup>

### Délková teplotní roztažnost

Platná zejména pro trubky, tyče a dráty (nejvýznamněji roste pouze délka)

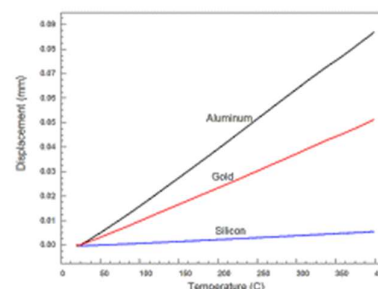
Experimentálně zjištěno, že prodloužení/zkrácení tyče je přímo úměrné počáteční délce tyče a přírůstku/„úbytku“ její teploty:

$$\Delta l = l_f - l_i$$

$$\Delta l = \alpha * l_i * \Delta T$$

Teplotní součinitel délkové roztažnosti ( $\alpha$ )- materiálová „konstanta“ (mírně se mění při větších změnách teploty- jednotka reciprokový/reciproční kelvin ( $K^{-1}$ )-

Např. kovy mají vysoký součinitel a sklo extrémně malý



<sup>1</sup> Toto platí pro téměř všechny materiály (neplatí pouze pro některé teplotní oblasti u určitých materiálů či pro speciální slitiny)

### Objemová teplotní roztažnost

Platí pro tělesa, u kterých nelze zanedbat roztažnost v dalších dvou rozměrech

Experimentálně zjištěno, že změna objemu je přímo úměrná původnímu objemu a teplotnímu přírůstku:

$$\Delta V = V_i * \beta * \Delta T$$

Teplotní součinitel objemové roztažnosti ( $\beta$ )- materiálová „konstanta“ (mírně se mění s teplotou- konstantní při malých  $\Delta T$ )

Pro pevná tělesa *izotropické* struktury (zvl. amorfni látky):  $\beta \approx 3\alpha$

Dutá tělesa zvětšují svůj objem stejně jako plná tělesa

\*Teplotní součinitele s teplotou zpravidla klesají s mocninou 3 (u 0K se blíží 0)

### Teplotní roztažnost v praxi

- Kovové konstrukce
  - o Mosty jsou pokládány na pilíře, čímž se umožní pohyb při prodlužování/zkracování mostu
  - o Při napínání ocelových lan se nechává „rezerva na zimu“
  - o Parovody obsahují mnoho pružných kolen
- Technika
  - o Kotle se nikdy těsně nezazdírají, jelikož se mění jejich rozměry
  - o Písty motorů se musí ochlazovat, jinak by došlo k jejich zadření
- Železobeton- je stálý pouze díky stejné tepelné roztažnosti železa a betonu
- Věda
  - o Zubní plomby musí mít stejnou roztažnost jako zub
  - o Metry, odměrné válce, pipety či byrety jsou kalibrovány pro určitou teplotu
  - o Laboratorní sklo- tzv. křemenné- má minimální teplotní roztažnost a je tenkostěnné (→ rovnoměrně se prohřívá a nepraská)
  - o Bimetalové teploměry- obsahují spojené proužky dvou kovů s různými teplotními součiniteli- při změně teploty se stáčí (např. termostat žehličky, lednice)